



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULO DE CONTROL DE
TEMPERATURA, EMPLEANDO EL CONTROLADOR LOGICO
PROGRAMABLE ALLEN BRADLEY COMPACTLOGIX 1769-L23E-QBFC1B,
PARA ESTUDIO DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL Y
DERIVATIVO (PID)”**

**PLAN DE PROYECTO DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

Presentado por:
Bach.Ing. Gary Kenneth SOLORZANO DIAZ
Bach.Ing. Jorge Javier ARANIBAR CHAMBILLA

Tacna – Perú
2017

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a la persona que me guía y me hace una mejor persona día a día, mi madre. Ahí está terminado mamá.

Beatriz Díaz C.

GARY SOLÓRZANO DÍAZ

DEDICATORIA

A mis padres que con mucho amor y cariño le dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto, para la realización de esta tesis.

Raúl, Paula y Guadalupe

JORGE ARANIBAR CHAMBILLA

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de tesis a Dios y a nuestros padres. A Dios porque ha estado con nosotros a cada paso que damos, cuidándonos y dándonos fortaleza para continuar, a nuestros padres, quienes a lo largo de nuestra vida han velado por nuestro bienestar y educación siendo nuestro apoyo en todo momento; depositando su entera confianza en cada reto que se nos presentaba sin dudar ni un solo momento en nuestra inteligencia y capacidad. Es por ellos que somos lo que somos ahora. Los amamos con nuestras vidas.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por habernos guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de nuestra familia; a los docentes de la escuela que al transcurrir de los años han sabido instruirnos y hacer una labor excelente.

Resumen

Esta investigación y ejecución de proyecto explora con mucho más detalle la programación en un PLC Compact Logix de la familia 1769 – L23E y por medio de los controladores PID, que muestran ser robustos en muchas aplicaciones y son los más utilizados en la industria, se desarrolló la mejora de un sistema de intercambiadores de calor.

El proyecto empieza con el armado del módulo de entrenamiento, el cual nos permite tener un mejor acceso a todas las I/O de nuestro PLC y también poder tener una comunicación directa de nuestro equipo a nuestro servidor, se adhiere el armado de un módulo de temperatura. Una vez teniendo los módulos tanto de nuestro entrenador de PLC como nuestro módulo de temperatura, se procede a enlazarlos con nuestro servidor, por medio de los programas de comunicación y programación propios del fabricante, RS LOGIX.

Habiendo realizado los cálculos para un correcto funcionamiento en nuestra programación del controlador PID, se plasmó todo esto en nuestro entrenador dándonos una mejora al proceso de calor.

Finalmente podemos probar que los controladores PID son eficientes y para la mejora de los procesos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
<u>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	2
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 HIPÓTESIS	3
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.7 MARCO METODOLÓGICO	4
1.7.1 Tipo de investigación	4
1.7.2 Diseño de la Investigación	5
1.7.3 Clase de diseño de investigación	5
1.8 ALCANCES Y LIMITACIONES	5
1.8.1 Alcances	5
1.8.2 Limitaciones	5
<u>CAPITULO II : MARCO TEÓRICO</u>	7
2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL	7
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL	7
2.2.1 Sistemas de control centralizado	7
2.2.2 Sistemas de control distribuido	8
2.3 LA TÉCNICA DE LA AUTOMATIZACIÓN	9
2.3.1 Consecuencias de la automatización	11
2.3.2 Fases para la puesta en marcha de un proyecto de automatización	11
2.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	15
2.4.1 Campos de aplicación	16
2.4.2 Funciones básicas de un PLC	16
2.5 COMMON INDUSTRIAL PROTOCOL (CIP)	17
2.5.1 Modelo de objetos CIP	18
2.5.2 Protocolo Industrial Ethernet (EtherNet/IP)	19
2.6 CONTROL PID	21
2.6.1 Introducción	21

2.6.2	El principio de realimentacion	22
2.6.3	Control proporcional	23
2.6.4	Acción integral	24
2.6.5	Acción derivativa	25
2.7	COMPACTLOGIX DE ROCKWELL- AUTOMATION	26
2.7.1	Descripción del sistema CompactLogix	26
2.7.2	Módulos de Entrada/Salida CompactLogix	27
2.7.2.1	Módulos de E/S digitales CompactLogix	28
2.7.2.2	Módulos de E/S analógicos Compactlogix	28
2.7.2.3	Módulos de E/S especiales Compactlogix	28
2.7.3	Compatibilidad con otros dispositivos	28
2.7.3.1	Comunicación con dispositivos de visualización	28
2.7.3.2	Comunicación con otros controladores y dispositivos de comunicación	29
2.7.4	Chasis para el sistema	29
 <u>CAPITULO III: CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA, BASADO EN LA ARQUITECTURA DE ROCKWELL-AUTOMATION</u>		 30
3.1	INTRODUCCIÓN	30
3.2	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	30
3.3	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL BASADO EN LA ARQUITECTURA DE ROCKWELL AUTOMATION	32
3.3.1	Requerimientos del usuario	32
3.3.2	Seleccionar plataforma de control	32
3.3.3	Seleccionar plataforma de red	33
3.3.4	Seleccionar la plataforma de supervisión	34
3.3.5	Seleccionar la plataforma de gestión	35
3.3.6	Programación y Configuración de Controladores, HMI, Software	35
3.3.7	Simulación y Pruebas	35
3.3.8	Instalación y Montaje	35
3.3.9	Puesta en Marcha	35
3.3.10	Entrenamiento	36
3.4	CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE CADAPLATAFORMA	36
3.4.1	Consideraciones sobre la plataforma de control	36
3.4.2	Consideraciones de los controladores de la plataforma de control	37

3.4.3	Consideraciones sobre la plataforma de visualización	38
	CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	39
4.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	39
4.2	ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL	40
4.2.1	El PLC CompactLogix 1769-L23	40
4.2.2	El módulo de temperatura	41
4.2.3	Diagrama esquemático de la aplicación	41
4.3	INTERCONEXIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA APLICACIÓN	42
4.3.1	Conexionado del PLC con el módulo de control	42
4.3.2	Conexión de las entradas Digitales	42
4.3.3	Conexión de las salidas Digitales	43
4.3.4	Conexión de entradas y salidas analógicas	43
4.3.5	Conexionado de las entradas y salidas de contadores. (HSC)	45
4.3.6	Montaje del módulo de control	45
4.4	CONFIGURANDO LA PLATAFORMA DE RED RSLINXS	48
4.5	CONFIGURANDO LA PLATAFORMA DE CONTROL RSLOGIX 5000.	49
4.6	ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PID	52
4.7	CONFIGURACIÓN PID PARA CÁMARA DE CALOR	64
4.8	CONFIGURACIÓN DE LA PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN RSVIEW 32	66
4.9	PRUEBAS DE OPERATIVIDAD DEL MÓDULO	71
	CONCLUSIONES	74
	RECOMENDACIONES	75
	BIBLIOGRAFÍA	76
	ANEXOS: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y PLC	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1: Integración de la arquitectura CIP en el modelo OSI de red.	18
Figura 2: Protocolo Industrial Ethernet IP.	19
Figura 3: Diagrama de bloques del sistema de control de un proceso	23
Figura 4: Característica de un controlador proporcional.	24
Figura 5: Implementación de la acción integral concebida como un reset automá	25
Figura 6: Interpretación geométrica de la acción derivativa de control predictivo.	26
Figura 7: Etapas para el diseño de un sistema de control y automatización	31
Figura 8: Diagrama de bloques de nuestro proceso	39
Figura 9: PLC CompactLogix-L23x 1769	40
Figura 10: Módulo de temperatura	41
Figura 11 : Diagrama esquemática del controlador de temperatura	41
Figura 12: Conexión del PLC con el módulo de control	42
Figura 13: Conexión de las entradas Digitales	42
Figura 14: Conexión de las salidas Digitales	43
Figura 15: Conexión de entradas y salidas analógicas	43
Figura 16: Conexión de un transmisor de voltaje	44
Figura 17: Configuración de las salidas analógicas	44
Figura 18: Conexión de las entradas y salidas de contadores	45
Figura 19: Inserción de los cables en el rack	45
Figura 20: Conexión de de los cables a las borneras	46
Figura 21: Distribución de los cables en el rack	46
Figura 22: Ordenamiento de los cables en el rack	46
Figura 23: Inserción del CompactLogix en el rack	47
Figura 24: Montaje del CompactLogix y conexionado en el rack	47
Figura 25: Conexión del módulo de control con el CompactLogix	47
Figura 26: Configurando la plataforma de red	48
Figura 27: Propiedades del CompactLogix 1769	49
Figura 28: Selección del modelo de PLC	49
Figura 29: Configuración de las entradas y Salidas analógicas del PLC	50
Figura 30: Selección del lenguaje de programación	50
Figura 31: Programación en ladder de nuestro diseño para el control PID	51
Figura 32: Configuración de la instrucción PID	56
Figura 33: Configuración PID para cámara de calor	64
Figura 34: Configuración de las propiedades y ajustes del PID	65

Figura 35: Configuración del Control PID	65
Figura 36: Configuración de la variable del proceso y variable de control	66
Figura 37: Configuración del programa Principal y edición de los etiquetas	66
Figura 38: Verificación de los parámetros en el modo Ejecución	67
Figura 39: Visualización del Proyecto, Modo Ejecución.	67
Figura 40: Visualización de las librerías, Modo Ejecución.	68
Figura 41: Visualización del Registro de alarmas	68
Figura 42: Visualización de las acciones derivativas del Control PID	69
Figura 43: Visualización de la tendencia histórica PV	69
Figura 44: Visualización de la tendencia histórica CV	70
Figura 45: Visualización de la tendencia en tiempo real	70
Figura 46: Visualización de la operatividad del controlador	71
Figura 47: Programación del controlador COMPACTLOGIX	71
Figura 48: Configuración de la plataforma de red Ethernet TCP/ IP	72
Figura 49: Simulación del intercambiador de calor usando plataforma RSView 32	72
Figura 50: Operatividad del módulo de temperatura	73

INDICE DE TABLAS

	Pág
<u>TABLA 1</u>: Consideraciones para la elección de la plataforma de visualización	38
<u>TABLA 2</u> : Características técnicas del CompactLogix 1769-L23E-QBFC1B	40
<u>TABLA 3</u>: Operandos	52
<u>TABLA 4</u>: Estructura del PID	53

INTRODUCCIÓN

Nuestro país vive un crecimiento económico los últimos años, y gran parte de esto es gracias a las grandes industrias, fábricas y demás empresas que están en nuestro país, las cuales buscan personal competente para el desarrollo y buen funcionamiento de su sector.

En la actualidad los tipos de comunicación en el rubro de la automatización y control de procesos han tenido un gran avance en estos últimos años. Es así que se llega a tener como uno de los principales protocolos usados en la industria y minería a Ethernet IP, que es la combinación del Ethernet estándar más el protocolo CIP.

La presente tesis pretende contribuir de manera significativa a incrementar el conocimiento y poder hacer ver la gran importancia que tiene un sistema de automatización y supervisión de procesos industriales para el buen funcionamiento de cualquier empresa dedicada a la producción. Además para el área académica, debe servir como base a los estudiantes y docentes para que tengan una nueva visión para futuras investigaciones en esta área de procesos industriales.

Es por ello, que la presente tesis ha sido desarrollo en cuatro capítulos. En el primer Capítulo se verán los antecedentes así como el planteamiento y la formulación del problema en el Laboratorio de Control y Automatización de la EPIE.

El segundo Capítulo se verá el Marco Teórico, donde se indicaron la teoría del protocolo usado para la comunicación y la arquitectura propuesta.

En el tercer Capítulo, se presenta las consideraciones a tomar en cuenta al momento de seleccionar el equipamiento y los dispositivos de un sistema de control automatizado basado en la arquitectura del fabricante Rockwell-Automation.

Por ultimo en el cuarto capítulo se desarrolla la aplicación de un módulo de control de temperatura, empleando el Controlador Lógico Programable Allen Bradley CompactLogix 1769-L23E-QBFC1B, para el estudio de control proporcional integral y derivativo (PID)

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna, cuenta con el Laboratorio de Control y Automatización, ubicado en el Tercer Piso del Pabellón F del Campus Capanique I. Dicho laboratorio forma parte del Area de Especialidad de Control y Automatización que ofrece en su formación académica a los estudiantes de dicha carrera profesional.

En la actualidad dicho laboratorio, cuenta con distintos módulos que se encuentran con diferentes PLC de marcas conocidas y destacadas en el mercado como son Allen Bradley y Siemens, que permiten realizar experiencias de laboratorio basados en el desarrollo de aplicaciones de sistemas de control.

El Laboratorio cuenta con una red industrial que permite desarrollar aplicaciones en las diferentes plataformas de control que allí se manejan, tales como Ethernet IP, Profibus o DeviceNet. Está red ha permitido integrar los módulos de entrenamiento FESTO con que cuenta el Laboratorio, lo que le da un gran potencial para el desarrollo de aplicaciones complejas en las diferentes plataformas con que se desarrollan.

Los dispositivos de control que se encuentran en el laboratorio, llámese PLC, por lo general son de gama baja para aplicaciones más simples de implementar. El año pasado, a través de un trabajo de tesis, se pudo contar con un controlador de gama media, el cual interactuó con otro controlador de gama baja para el desarrollo de una aplicación utilizando el módulo de entrenamiento de FESTO.

El existir ya una experiencia de desarrollo de aplicaciones con el controlador de gama media del fabricante Rockwell-Automation, ha permitido que exista un interés marcado para el desarrollo de aplicaciones con controladores COMPACTLOGIX.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema puede ser formulado con la siguiente pregunta de investigación:
*¿Cómo el diseño y la implementación de un entrenador con PLC **ALLEN BRADLEY 1769-L23E-QBFC1B**, permite automatizar procesos de producción en una empresa?*

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un módulo de temperatura, empleando el Controlador Lógico Programable Allen Bradley CompactLogix 1769-L23E-QBFC1B, para el estudio de control proporcional integral y derivativo (PID)

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar una aplicación basado en el control de la temperatura para simular un proceso industrial existente en las diferentes tipos de industrias que se encuentran en nuestro país.
- Realizar esta aplicación con el PLC ALLEN BRADLEY 1769-L23E-QBFC1B para poder realizar una óptima lectura y resultados exactos de cómo se comporta nuestro proceso y a la vez supervisarlos por medio de una interfase (SCADA) simulando así el comportamiento real en una planta.

1.4 HIPÓTESIS

Si se diseña un módulo de control de temperatura utilizando un algoritmo P-I-D en un PLC Allen- Bradley 1769- L23E - QB1BFC1B, entonces estamos innovando la enseñanza teórica – práctica de los estudiantes de la EPIE en el Area de Control y Automatización.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a la gran demanda de personal competente en el área de control y automatización las empresas cada vez ponen más alta su valla para el ingreso a las mismas. Con este entrenador veremos cómo se comporta nuestro sensor de temperatura y como va tomando las diferentes lecturas en un proceso, el tiempo

en que enfría y vuelve a generar calor, y poder ver que estos procesos son programables y ajustables a la persona que lo supervisa.

Con el desarrollo e implementación de aplicaciones utilizando el controlador CompactLogix y su integración a la red industrial de la EPIE, permitirá complementar la formación en pre – grado de los alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica en la especialidad de automatización y control. Además se podrán realizar capacitaciones a egresados y público en general que deseen especializarse en esta nueva arquitectura de red industrial a implementar.

1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La viabilidad de la investigación está garantizada por:

- Facilidad de adquirir el controlador de gama media, así como de los componentes electrónicos digitales que son utilizados en la aplicación.
- Acceso a los dispositivos de control con que cuenta la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna.
- Experiencia de los tesisistas en el manejo de los equipos Allen-Bradley existentes en el Laboratorio de Control y Automatización de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna.
- La disponibilidad en el mercado peruano para la adquisición de accesorios y repuestos, licencia de software propietario.
- La existencia de tutoriales en Internet sobre las características técnicas del hardware y la programación de los PLC.
- La Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica cuenta con docentes especializados en el Área de Control y Automatización, que tienen experiencia en el desarrollo de aplicaciones basadas en Controladores Lógicos Programables (PLC).

1.7 MARCO METODOLÓGICO

1.7.1 Tipo de investigación

La investigación desarrollada según el objetivo que se persigue es de tipo tecnológico, porque orienta la aplicación del conocimiento científico a la solución de un problema práctico inmediato, relacionado con el desarrollo de un sistema de control de temperatura basado en el PLC Compact Logix.

1.7.2 Diseño de la Investigación

Según su propósito	Tecnológica
Según la naturaleza de la fuente	Experimental, Empírica
Según el tipo de información	Cuantitativa
Según el nivel de conocimiento	Explicativa

1.7.3 Clase de diseño de investigación

La clase de diseño de investigación por la forma en que se realiza la investigación será del tipo experimental.

La tarea seguida en esta investigación presenta las siguientes etapas:

1. Reconocimiento y definición del problema.
2. Obtención y análisis de información
3. Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución
4. Implementación de la solución

1.8 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.8.1 Alcances

Con este proyecto los alcances que se pueden obtener son el entender el uso de estos PLC's, su programación, su control y el proceso que comandan, que mostrados a una pequeña escala lo podemos implementar en cualquier tipo de industria y procedimientos académicos.

Tener la información necesaria para entender el funcionamiento de estos dispositivos y saber que pueden ser de mucha ayuda para investigaciones y entrenamiento de futuros profesionales que se dedicaran a este ámbito.

Se implementó un entrenador con PLC Allen Bradley 1769-L23E-QBFC1B el cual nos permita controlar aplicaciones llevadas al ámbito laboral, con lo cual se debe conseguir reducir costos, horas-hombre y lo más importante el tiempo.

1.8.2 Limitaciones

Debido a la gran demanda en este servicio nosotros y futuros profesionales nos encontraremos con diferentes marcas, modelos y tipos de PLC en todo el largo camino que nos espera para el que ha decidido seguir esta rama de la electrónica, y nos tocara estudiar cada lenguaje y cada comportamiento que tienen los diferentes tipos de dispositivos. Pero no es tema de preocupación, pues la lógica no está muy alejada en todos estos tipos de PLC's.

El CompactLogix 1769 es un controlador de gama media del fabricante Rockwell Automation que es utilizado en aplicaciones no muy complejas, como es el caso de nuestra aplicación de control de temperatura aquí desarrollado.

Como todo producto, este controlador no es la última versión de la serie CompactLogix, pero tiene todo lo básico para poder realizar un proceso óptimo de nuestra aplicación.

Para aplicaciones más complejas donde se desea utilizar más de un controlador o desarrollar soluciones integradas, el Compact Logix tiene muchas limitaciones, por lo que no es recomendable en tales casos.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

Se define como sistema de comunicación, a la interconexión entre dos o más dispositivos mediante un medio de transmisión físico o inalámbrico. Cuando decimos un conjunto de dispositivos interconectados para compartir sus recursos, nos referimos a un ordenador, un controlador lógico programable o una PC industrial..

La manera como están interconectados estos dispositivos se les denominan topologías de red. Una organización empresarial tiene la necesidad de establecer un sistema de comunicación industrial para poder obtener mejoras en sus procesos, tales como:

- La reducción en los costos de producción.
- La mejora de la calidad de sus productos.
- La mejora de la productividad.
- La reducción del costo de almacenaje.
- El aumento de la efectividad de sus sistemas d producción.
- La reducción de los costos de mantenimiento..
- La interconexión de los centros de producción con los centros de gestión e ingeniería de la empresa.
- La integración de los sistemas informáticos de la empresa (producción, pedidos, almacén, etc.).
- Intensificar el uso de las tecnologías de la información (TICs) al momento de compartir recursos.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL

Dependiendo de la complejidad del sistema industrial a controlar o de los dispositivos que intervienen en el sistema, podemos clasificarlos de la iguiente manera:

- Sistemas de control centralizado
- Sistemas de control distribuido

2.2.1 Sistemas de control centralizado

Cuando se refiere a un sistema de control centralizado, **Hurtado (s.f)** afirma que:

Esta aproximación es la que se sigue en el caso de sistemas poco complejos, donde un proceso puede ser gestionado directamente mediante un único elemento de control encargado de realizar todas las tareas del proceso de producción y que puede incluir un sistema de monitorización y supervisión. **(p.3)**

Ventajas

- No se necesita planificar un sistema de interconexión entre procesos, ya que todas las señales están gestionadas por el mismo sistema.
- Por otro lado, para sistemas de poca complejidad, posee un menor costo económico.
- Su mantenimiento es fácil, ya que sólo hay un único controlador.
- Al existir un único controlador, no existen problemas de compatibilidad.

Desventajas

- Son muy sensibles a los fallos; si el controlador falla, todo se detiene. Por lo que requiere un sistema redundante para evitar estas situaciones.
- El cableado puede aumentar notablemente debido a las mayores distancias que pueden existir entre los sensores, actuadores y la unidad de control. Este problema se pueda simplificar usando los de buses de campo.

2.2.2 Sistemas de control distribuido.

Cuando se refiere a un sistema de control distribuido, **Hurtado (s.f)** manifiesta que:

La opción de control distribuido requiere que puedan considerarse procesos, grupos de procesos o áreas funcionales susceptibles de ser definidas por un algoritmo de control que pueda realizarse de forma autónoma. A cada unidad se destinará un autómata (o elemento de control) dimensionado de acuerdo con los requerimientos del proceso considerado. Debido a la interdependencia que existe entre las operaciones que tienen lugar en cada proceso, hay que tener en cuenta que es necesario interconectar los autómatas entre sí mediante entradas y salidas digitales, o a través de una red de comunicaciones para

intercambio de datos y estados. Por tanto, el autómata o elemento de control evaluado debe permitir las comunicaciones.**(p.3)**

Ventajas

Con esta técnica de control es posible que cada unidad funcional consista en un proceso relativamente sencillo comparado con el proceso global, por lo que presenta las siguientes ventajas:

- Diseñados para sistemas grandes o complejos.
- La responsabilidad es compartida entre los controladores del sistema, por lo que se requiere de controladores más sencillos o por lo tanto, económicos.
- Todos los controladores deben comunicarse a través de una red.
- Su capacidad tiende a ser superior a un sistema centralizado.
- Es un sistema más flexible que el centralizado.
- Se pueden ampliar la cobertura con otros controladores, integrándose en una red de comunicaciones con los demás controladores.
- Permite la integración de dispositivos de diferentes fabricantes.

Desventajas

Como desventajas, es necesario:

- Realizar un estudio de implantación previo, ya que se deben identificar los procesos autónomos,
- Asignar elementos a cada proceso y
- Diseñar el modelo de intercomunicación para responder a las necesidades del proceso planteado.

2.3 LA TÉCNICA DE LA AUTOMATIZACIÓN

Según la Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como “el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas”.

Tomando en cuenta esta definición original se puede definir la automatización como “la aplicación de la automática al control de procesos industriales”.

Con la finalidad de definir los procesos industriales, **Ponsa y Granollers (s.f)** afirman:

Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos batch. Los procesos continuos se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. Finalmente, los procesos batch son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o lotes de material, como por ejemplo la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza.(p.2)

La técnica de la automatización es una disciplina que abarca varias especialidades y que recurre a conocimientos de diversas ciencias de ingeniería. La norma DIN 19223 define un autómata como un sistema artificial que se comporta de determinadas maneras relacionando comandos de entrada con estados del sistema, a fin de tener las salidas necesarias para solucionar tareas.

Para configurar los procesos se necesitan conocer tres componentes:

- Sensores para captar los estados del sistema.
- Actuadores para emitir los comandos de control.
- Unidades de control para la ejecución del programa y para tomar decisiones.

En cuanto a la expresión control de procesos industriales, **Ponsa y Granollers (s.f)** afirman que:

Ésta abarca, desde un punto de vista académico, la teoría de control básica de realimentación y acción PID, la instrumentación de control (sensores, actuadores, dispositivos electrónicos, etc.), la aplicación a procesos industriales (como, por ejemplo, la mezcla de componentes en un reactor químico), las diversas arquitecturas de control (centralizado, distribuido), las estructuras de control (feedback, feedforward, cascada, etc.) y la teoría de control avanzada (control predictivo, control

multivariable, etc.), por citar algunos de los aspectos más relevantes.(p.4)

Ponsa y Granollers (s.f) afirman que:

Durante los casi ya treinta años de utilización de autómatas programables en la industria, conviene destacar su labor eficaz en el control secuencial de procesos. Una de las aplicaciones de mayor éxito es la combinación de autómatas programables con la tecnología electroneumática. Esta combinación ha permitido ofrecer soluciones de automatización basadas en el posicionamiento, la orientación y el transporte de material dentro de la planta, y es de gran ayuda en las tareas realizadas por otros elementos, como por ejemplo el robot manipulador industrial.(p.5)

2.3.1 Consecuencias de la automatización

Una de las razones principales para emplear sistemas automatizados sigue siendo la necesidad de producir a bajos costos para poder ser competitivos.

Desde ese punto de vista, la técnica de la automatización presentan las siguientes ventajas:

- En las plantas de fabricación automatizada se necesitan menos operarios.
- Se puede operar las 24 horas del día, interrumpiendo los procesos únicamente para realizar trabajos de mantenimiento.
- Los productos que se obtienen tienen un alto y constante nivel de calidad. En términos generales, los autómatas cometen menos errores que los humanos.
- Se reducen los tiempos para el desarrollo de los procesos. Es posible entregar a los clientes más productos en menor tiempo.
- La automatización permite que los operarios no tengan que hacer trabajos peligrosos o nocivos para la salud.

Sin embargo, estas ventajas de la automatización se enfrentan a varias desventajas:

- Eliminación de puestos de trabajo, especialmente aquellos que pueden ocupar trabajadores de bajo nivel de calificación.

- La automatización de los procesos de fabricación implica que los operarios tomen decisiones específicas, cuyas consecuencias no puede apreciar en su totalidad debido al carácter complejo de las instalaciones.
- Los costos originados por un sistema automatizado tienen como consecuencia que los individuos asumen una mayor responsabilidad en relación con el éxito de la empresa.

2.3.2 Fases para la puesta en marcha de un proyecto de automatización

La automatización de procesos industriales complejos, requieren de la interacción entre las diferentes áreas de una empresa (gestión, logística, automatización, distribución, etc.).

El desarrollo de un proyecto de automatización de procesos industriales consta de las siguientes fases:

- Automatización
- Supervisión
- Interacción
- Implementación
- Pruebas

A continuación, se presenta un breve resumen de cada una de las fases con que consta un proyecto de automatización.

Automatización

Con respecto a la fase de automatización, **Ponsa y Granollers (s.f)** afirman que:

En esta fase elemental hay que desarrollar los pasos siguientes relacionados con el GRAFCET (Grafo de Estados y transiciones) y la puesta en marcha de automatismos:

- Observación del proceso a controlar y generación del GRAFCET de primer nivel en su descripción funcional.
- Selección del automatismo (autómata programable, regulador digital autónomo).
- Selección y cableado físico de sensores y actuadores, con las secciones de entradas y salidas del automatismo.
- Generación del GRAFCET de segundo nivel en su descripción tecnológica. **(p.7)**

Supervisión

Con respecto a la fase de supervisión, **Ponsa y Granollers (s.f)** afirman que:

A continuación, en esta segunda fase, hay que desarrollar los pasos siguientes:

- Hay que reunir el máximo de especificaciones a priori sobre los estados posibles en las que se puede encontrar una máquina o un proceso, según la experiencia del agente encargado de la automatización o según las peticiones del cliente.
- Hay que definir los módulos a utilizar según la complejidad del problema (seguridad, modos de marcha, producción) y representar gráficamente el caso de estudio mediante los estados y las transiciones).
- Para cada módulo, hay que generar un GRAFCET parcial. Cabe destacar que en el caso de producción, el GRAFCET de producción ya se ha generado en la fase de automatización, de manera que lo que hay que establecer aquí es la relación con el resto de módulos. En el caso del módulo de modos de marcha el GRAFCET de conducción promueve la activación y desactivación del módulo de producción, que normalmente presenta un desarrollo secuencial cíclico. Finalmente, mediante el módulo de seguridad, el GRAFCET de seguridad pertinente vigila los dos módulos anteriores ante la posible aparición de fallos o situaciones de emergencia en el sistema automatizado.
- Los GRAFCET parciales se integran de forma modular y estructurada en un solo GRAFCET general que contemple todos los módulos enunciados en función de la complejidad del problema, mediante las reglas de forzado y las reglas de evolución.
- El operario procede a la supervisión cuando está vigilando la evolución del proceso controlado automáticamente, y está atento a la presencia de posibles imprevistos que merezcan activar el módulo de seguridad e intervenir directamente en el mismo. **(p.8)**

Una vez la fase de supervisión se desarrolla, hay que establecer la fase de interacción.

Interacción

En todo proyecto de automatización de procesos industriales es importante la interacción entre la supervisión realizada por el operario del sistema y el proceso controlado por parte del autómeta. Para ello, se hace necesario el diseño del panel de mando en función de las acciones físicas sobre dispositivos y la recepción de señales informativas visuales o acústicas.

Con respecto a la fase de interacción, **Ponsa y Granollers (s.f)** afirman que:

La comprensión de la fase de interacción es vital para que el usuario pueda clasificar las diversas situaciones que se dan en el sistema automatizado y procesar la información e intervenir con coherencia. **(p.9)**

Una vez realizadas las fases de automatización, supervisión e interacción, y antes de seguir con el resto de fases, el operario puede rehacer convenientemente cada una de ellas a medida que aumenta el conocimiento experto del funcionamiento del sistema. **(p.10)**

Implementación

La fase de implementación es la parte más práctica del método seguido para el desarrollo de un proyecto de automatización. Los pasos que comprenden son los siguientes:

- Selección del lenguaje de programación del autómeta.
- Traducción de GRAFCET a lenguaje de programación estructurado.

Con respecto a la fase de implementación, **Ponsa y Granollers (s.f)** afirman que:

Esta fase requiere las habilidades prácticas del operario en la programación de automatismos. Respecto a la traducción de GRAFCET a lenguaje de programación de autómetas –como, por ejemplo, el esquema de contactos-, algunos usuarios utilizan el GRAFCET de tercer nivel en su descripción operativa. Otros usuarios prefieren pasar directamente el GRAFCET de segundo nivel, en su descripción tecnológica, al formato de esquema de contactos. Existe otra posibilidad, que es la formulación de las etapas y transiciones del GRAFCET en la forma de biestables S/R (S set, R reset). **(p.11)**

Una vez la fase de implementación se desarrolle, hay que establecer la fase de pruebas.

Pruebas

Con respecto al desarrollo de la fase de pruebas, **Ponsa y Granollers (s.f)** afirman que:

Una vez implementado el algoritmo general sobre el automatismo, el operario puede verificar dicho algoritmo por partes; vigilar la evolución del proceso o interactuar con el proceso controlado mediante el panel de mando, e incluso puede emular situaciones de emergencia para analizar cómo responde el sistema automatizado..... Frente a situaciones problemáticas, el operario puede depurar los algoritmos parciales, o añadir más estados que inicialmente no se habían tomado en consideración y rehacer el algoritmo general.

Evidentemente, para afrontar problemas complejos se recomienda dividir el problema en módulos funcionales básicos, y así poder rehacer el algoritmo de forma metódica sólo en las partes a rehacer. Conviene tener muy clara la identificación del aspecto a resolver y clasificar, si es posible, a qué fase corresponde. **(p.11)**

2.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

El PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar procesos secuenciales (una etapa después de la otra) que se ejecutan en un ambiente industrial. Es decir, que interactúan con el equipamiento que desarrollan procesos de producción y controlan su operatividad.

De su definición, podemos afirmar que el PLC es un autómata programable, porque contiene todo lo necesario para controlar secuencialmente un proceso industrial.

Entre las principales ventajas de emplear un PLC, tomando como referencia un PLC de gama media, tenemos:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos. debido a que no es necesario dibujar el esquema de contactos
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.

- Menor costo de mano de obra de la instalación
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo PLC
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Reducción en los costos de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas programables pueden indicar y detectar averías.

Entre los principales inconvenientes de emplear un PLC, tomando como referencia un PLC de gama media, tenemos:

- Requiere de conocimientos de programación de alto nivel, por lo que es necesario adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido. Esta capacitación puede ser tomada en distintos cursos, inclusive en universidades.
- El costo inicial del equipamiento es alto cuando se requieren desarrollar sistemas de control complejos, donde se requiera más de un PLC.

2.4.1 Campos de aplicación

El controlador Lógico programable (PLC) por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución de las tecnologías de la información (TICs) tanto en hardware y software, amplía permanentemente este campo.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario desarrollar un proyecto de automatización de procesos industriales.

Dada las características de un controlador programable PLC, **Aguilera (2002)**, afirma que debido a:

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hace que su eficacia se aprecie principalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios

- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso. **(p.17)**

2.4.2 Funciones básicas de un PLC

Dentro de las funciones básicas que realiza un PLC, **Aguilera (2002)**, afirma que podemos mencionar:

- La detección: Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- El mando: Elabora y envía las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- El diálogo hombre máquina: Mantener un diálogo con los operarios de producción obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso. **(p.15)**

2.5 COMMON INDUSTRIAL PROTOCOL (CIP)

Common Industrial Protocol (CIP) es un protocolo creado por la compañía ODVA y ControlNet Internacional. para la automatización de procesos industriales. El protocolo CIP comprende un conjunto de servicios y mensajes de control, seguridad, sincronización, configuración, información, etc., los cuales pueden integrarse en redes de plataforma Ethernet y en la World Wide Web de Internet.

El protocolo CIP cuenta con varias adaptaciones, proporcionado interconexión e integración a distintos tipos de redes. Estas comprenden:

- Ethernet/IP: adaptación de CIP a TCP/IP.
- ControlNet: integración de CIP con tecnologías CTDMA (Concurrent Time Domain, Multiple Access).
- DeviceNet: adaptación de CIP con CAN, Controller Area Network.

Con respecto a la filosofía del desarrollo del protocolo CIP, **Muñoz (2007)** afirma:

El protocolo CIP define las características de las capas de aplicación para diferentes redes lo que ha dado lugar a llamar la "Familia de Redes CIP" **(p.29)**

La filosofía del desarrollo del protocolo CIP, es la de proveer de una capa de aplicación que se abstraiga de la tecnología particular de una red

industrial, es decir, de las capas más bajas que definen las características físicas y propias del protocolo de comunicación. De esta forma, se puede aplicar esta capa común a distintas tecnologías de redes, cada una con sus capacidades y aplicaciones particulares. Así también, es posible otorgar una capacidad de interconexión entre las redes que implementen CIP en sus capas superiores de una forma transparente.(p.30)

La integración del modelo referencial OSI con las diferentes familias del protocolo CIP, se puede ver en la Figura 1.

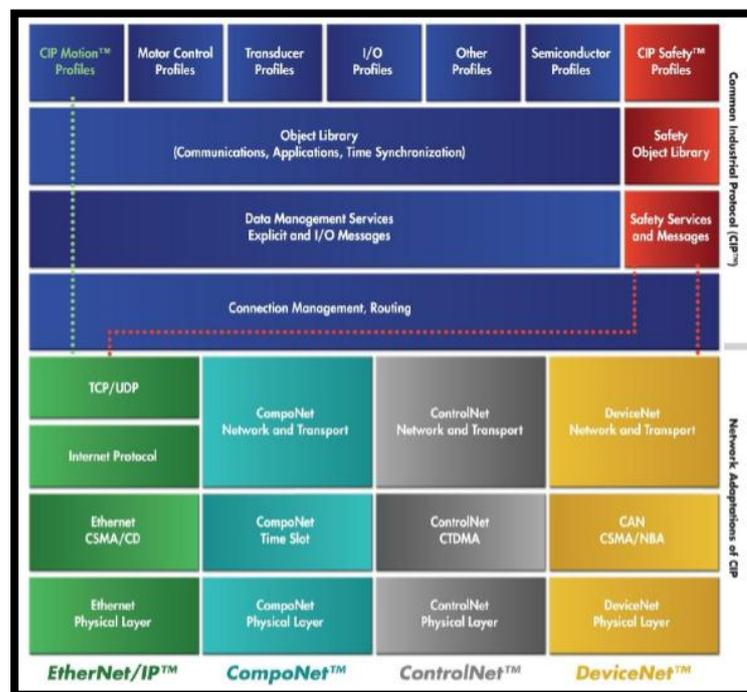


Figura 1: Integración de la arquitectura CIP en el modelo OSI de red.

(Fuente: odva.org)

2.5.1 Modelo de objetos CIP

CIP es un protocolo que sigue el modelamiento orientado a objetos. Cada objeto está formado por atributos (datos), servicios (comandos), conexiones y comportamiento (relación entre los datos y los servicios).

El protocolo CIP cuenta con un extenso número de objetos para cubrir las comunicaciones con elementos comunes en procesos de automatización, como dispositivos entrada/salida analógicos y digitales, HMI, etc.

Para asegurar la interconexión, un mismo objeto CIP implementado en distintos dispositivos se comporta de forma idéntica, constituyendo lo que se denomina un «perfil de dispositivo».

Con referencia al modelamiento de objetos en el protocolo CIP, **Muñoz (2007)** afirma:

El protocolo CIP utiliza un modelo de objetos abstractos para describir:

- El conjunto de servicios de comunicación disponibles.
- El comportamiento visible externamente de un nodo CIP.
- Un medio común para el acceso e intercambio de información entre productos CIP.

Todo nodo CIP es modelado como una colección de objetos. Un objeto provee una representación abstracta de un componente particular dentro de un producto. Cualquier cosa no descrita en forma de objeto no es visible a través de CIP. (p.39)

Con referencia a la estructuración de los objetos en el protocolo CIP, **Muñoz (2007)** afirma:

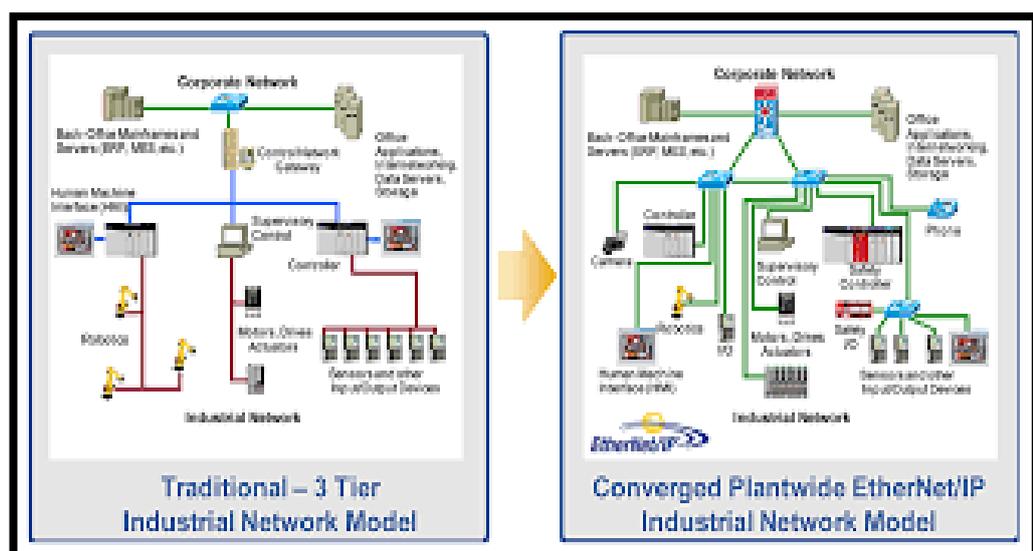
Los objetos CIP están estructurados en los siguientes elementos:

- Clases
- Instancias
- Atributos

Una clase es un conjunto de objetos donde todos representan el mismo tipo de componente de sistema. Un objeto instancia es la representación real de un objeto particular dentro de una clase. A su vez, cada instancia de una clase posee los mismos atributos, y que a su vez poseen su propio conjunto particular de valores. (p.39)

2.5.2 Protocolo Industrial Ethernet (EtherNet/IP)

El Protocolo industrial Ethernet (EtherNet/IP) es un estándar para la



interconexión de redes industriales que admite la transmisión de mensajes de modo implícito y explícito, y que utiliza medios físicos y componentes electrónicos de comunicación Ethernet comerciales.

Figura 2: Protocolo Industrial Ethernet IP.

(Fuente: www.rockwellautomation.com)

EtherNet/IP es una plataforma de red de un sistema de interconexión abierta que utiliza:

- El estándar de comunicación física y de datos IEEE 802.3
- El conjunto de protocolos Ethernet TCP/IP (Protocolo industrial Ethernet/Protocolo Internet).
- El protocolo de control e información (CIP)

TCP/IP es el protocolo de comunicación que opera en el nivel de transporte y la plataforma de red de Internet. TCP/IP proporciona una gama de servicios que pueden utilizar los dispositivos para compartir datos. Dado que la tecnología Ethernet y los conjuntos de protocolos estándar como TCP/IP han sido promocionados para uso público, se han producido de forma masiva y pueden conseguirse fácilmente medios físicos y herramientas de software estandarizadas, con lo que se disfruta de las ventajas de una tecnología conocida y una gran facilidad de acceso.

El UDP/IP (Protocolo de datagrama de usuario) también se utiliza junto con la red Ethernet. UDP/IP proporciona un transporte de datos rápido y eficiente, características necesarias para el intercambio de datos en tiempo real.

Para que EtherNet/IP tenga éxito, se ha agregado el protocolo CIP al conjunto TCP/UDP/IP con el fin de proporcionar un nivel de aplicaciones común. Por lo tanto, cuando elija un producto EtherNet/IP, estará seleccionado también prestaciones de TCP/IP y CIP. EtherNet/IP utiliza el modelo de red de productor/ consumidor, al igual que las redes DeviceNet y ControlNet, que utilizan CIP.

Con la introducción de la tecnología de conmutación de paquetes en la plataforma Ethernet y la transmisión de datos full-duplex, el rendimiento mejora drásticamente en la red EtherNet/IP.

Usualmente, una plataforma de red EtherNet/IP utiliza una topología de estrella, en la que los grupos de dispositivos tienen interconexión Punto a

Punto con un switch o conmutador. La ventaja tecnológica de usar una topología en estrella radica en la compatibilidad con dispositivos de red de 10 y 100 Mbps.

Puede combinar dispositivos con capacidades de 10 y 100 Mbps, y el conmutador Ethernet regulará la velocidad. Asimismo, la topología de estrella le ofrece conexiones fáciles de cablear, facilitando la detección de fallas en la red y permitir llevar a cabo tareas de mantenimiento.

La red EtherNet/IP ha sido diseñada para transmitir grandes cantidades de datos con capacidades de transmisión de hasta 1500 bytes por paquete. Permite la gestión de grandes volúmenes de datos de un modo previsible.

2.6 CONTROL PID

2.6.1 Introducción

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso.

Los controladores PID son empleados para resolver el problema de control de procesos en muchas aplicaciones de la industria, particularmente cuando la dinámica del proceso es de primer y segundo orden, y los requerimientos de desempeño son modestos, generalmente limitados a especificaciones del comportamiento del error en estado estacionario y una rápida respuesta a cambios en la señal de referencia.

Los fabricantes suministran los controladores PID de formas diferentes . Existen sistemas del tipo “stand alone” con capacidad para controlar uno o varios lazos de control. Estos dispositivos son fabricados en gran escala por año. El controlador PID es también un elemento importante en los sistemas de control distribuido, ya que proporciona de manera eficaz regulación a nivel local. Por otro lado, pueden también venir empotrados o incorporados como parte del equipamiento, como en los sistemas de control de propósito especial, formando así parte integrante de la aplicación.

El uso extensivo de los controladores PID en la industria, es tal que el 95% de los lazos de control que existen en las aplicaciones de control de procesos industriales son del tipo PID, de los cuales la mayoría son controladores PI, lo que indica que la preferencia del usuario para el desarrollo

de estos sistemas, se basa en el uso de leyes de control muy simples. En general, el usuario no explota todas las características de los controladores PID, quizás por falta de una mejor comprensión desde el punto de vista de la teoría de control.

Los controladores PID son generalmente usados en aplicaciones con un nivel de control más bajo, por debajo de algunos dispositivos de mediano nivel como PLCs, supervisores, y sistemas de monitoreo.

Los controladores PID han sobrevivido a muchos cambios en la tecnología a lo largo de su historia. El microprocesador ha tenido una influencia dramática sobre el desarrollo del controlador PID; ha permitido brindar nuevas oportunidades para implementar funciones adicionales como el ajuste automático de parámetros y los cambios de modos de control.

El desarrollo de los sistemas de control PID está también influenciado por el desarrollo de la plataforma de comunicación de los buses de campos, lo que ha permitido su incorporación como módulos de vital importancia en los esquemas de control distribuido. En este sentido, la capacidad de comunicación de los controladores PID con otros dispositivos de campo como PLCs y otros sistemas de control de niveles superiores, es una función importante y necesaria.

Si bien a nivel industrial existen grupos de ingenieros de procesos e instrumentación que están familiarizados con los controladores PID, en el sentido de que llevan una práctica continua de instalación, puesta en marcha y operación de sistemas de control con lazos PID, también es cierto que existe mucho desconocimiento acerca de los detalles involucrados en la construcción de los algoritmos.

Prueba de ello es que muchos controladores PID operan en modo manual y, entre aquellos que están en el modo automático, frecuentemente la acción derivativa se encuentra desactivada. La razón es obvia, el ajuste de los controladores PID es un trabajo algunas veces complejo y requiere de cierto conocimiento de los principios de funcionamiento tanto de los procesos físicos controlados como de la misma teoría de control.

2.6.2 El principio de realimentación

La idea de la realimentación a lo largo de la historia, ha tenido una fuerte influencia en la evolución de la tecnología. Las aplicaciones del principio de realimentación han tenido éxito en los campos del control, comunicaciones e instrumentación. Para entender dicho concepto, la realimentación asuma que el

proceso es tal que cuando el valor de la variable manipulada se incrementa, entonces se incrementan los valores de las variables del proceso.

Bajo esta concepción, el principio de realimentación puede ser expresado como sigue: **Incrementar la variable manipulada cuando la variable del proceso sea más pequeña que la referencia y disminuirla cuando ésta sea más grande.**

Este tipo de realimentación se llama “realimentación negativa” debido a que la variable manipulada se mueve en la dirección opuesta a la variable del proceso. El principio puede ser ilustrado por el diagrama de bloques que se muestra en la siguiente figura, donde el proceso y el controlador están representados por cajas negras y las flechas denotan las entradas y salidas a cada bloque. Note que existe un símbolo especial que denota una suma de señales. El diagrama de bloques muestra que el proceso y el controlador están conectados en un lazo realimentado. La presencia del signo en el bloque de retorno indica que la realimentación es negativa.

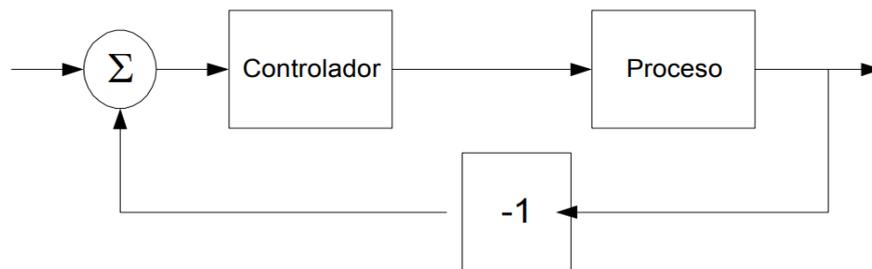


Figura 3: Diagrama de bloques del sistema de control de un proceso
(www.eng.newcastle.edu.au)

2.6.3 Control proporcional

Con referencia al concepto del control proporcional de los controladores PID, **Amadori (s.f)** afirma:

La respuesta proporcional es la base de los tres modos de control, si los otros dos, control integral y control derivativo están presentes, éstos son sumados a la respuesta proporcional. “Proporcional” significa que el cambio presente en la salida del controlador es algún múltiplo del porcentaje del cambio en la medición.

Este múltiplo es llamado “ganancia” del controlador. Para algunos controladores, la acción proporcional es ajustada por medio de tal ajuste

de ganancia, mientras que para otros se usa una “banda proporcional”. Ambos tienen los mismos propósitos y efectos.. **(p.2)**

Una consecuencia de la aplicación del control proporcional al lazo básico de control es el offset. Offset significa que el controlador mantendrá la medida a un valor diferente del valor de consigna.

Para restaurar el balance entre la entrada y la salida, el nivel se debe estabilizar a un valor debajo del valor de consigna (o setpoint). Esta diferencia, que será mantenida por el lazo de control, es llamada offset, y es característica de la aplicación del control proporcional único en los lazos de realimentación

La siguiente figura muestra la característica de un controlador proporcional. De esta manera, el controlador está caracterizado por la función no lineal $u = f_c(e)$, dependiente del error de control, que se muestra en la figura.

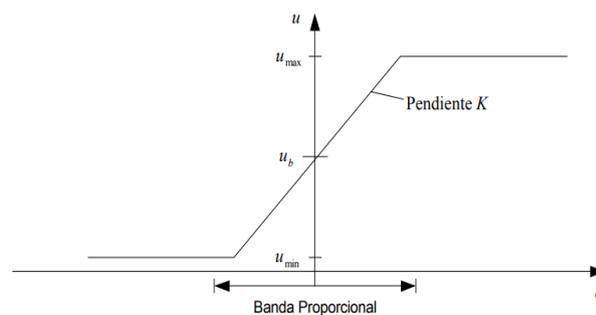


Figura 4: Característica de un controlador proporcional.
(www.eng.newcastle.edu.au)

2.6.4 Acción integral

Con respecto a la acción integral de los controladores PID, **Amadori (s.f)** afirma:

Cuando es necesario que no haya una diferencia de estado estable entre la medición y el valor de consigna bajo todas las condiciones de carga, una función adicional deberá ser agregada al controlador proporcional, esta función es llamada acción integral. En tanto que la medición estuviera en su valor de consigna, no existiría ningún cambio en la salida debido al modo integral del controlador. Sin embargo, cuando cualquier error exista entre la medición y el valor de consigna, la acción integral hace que la salida comience a cambiar y continúe cambiando en tanto el error exista. Esta función, entonces, actúa sobre la salida para que

cambie hasta un valor correcto necesario para mantener la medición en el valor de consigna.....

El escalón de cambio en la medición primero produce una respuesta proporcional, y luego una respuesta integral es agregada a la proporcional. Cuanto más acción integral exista en el controlador, mas rápido cambia la salida en función del tiempo. **(p.3)**

La acción integral también puede ser vista como un dispositivo que automáticamente restablece el término de polarización u_b de un controlador proporcional. Esto se ilustra en el diagrama de bloques de la siguiente figura, que muestra un controlador proporcional con un “reset” que se ajusta automáticamente. El ajuste se hace realimentando una señal, que es un valor filtrado de la salida del controlador, a un punto de suma. El “reset automático” fue el que dio origen a la acción integral del controlador del tipo PID.

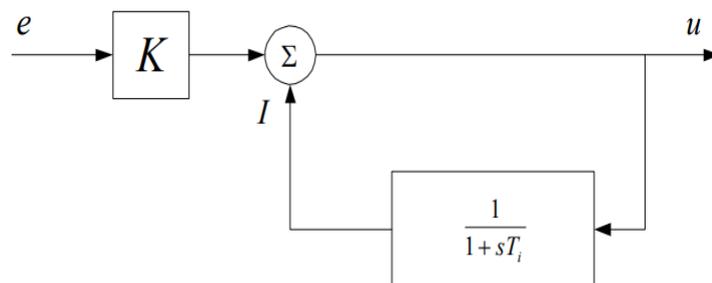


Figura 5: Implementación de la acción integral concebida como un reset automático
(www.eng.newcastle.edu.au)

2.6.5 Acción derivativa

El propósito de la acción derivativa es mejorar la estabilidad de lazo cerrado. Con respecto a la acción derivativa de los controladores PID, **Amadori (s.f)** afirma:

La tercera respuesta encontrada en controladores es la acción derivativa. Así como la respuesta proporcional responde al tamaño del error y el Integral responde al tamaño y duración del error, el modo derivativo responde a cuan rápido cambia el error.....

La acción derivativa en los controladores ayuda a controlar procesos con constantes de tiempo especialmente grandes y tiempo muerto

significativo, la acción derivativa es innecesaria en aquellos procesos que responden rápidamente al movimiento de la válvula de control, y no puede ser usado en absoluto en procesos con ruido en la señal de medición, tales como caudal, ya que la acción derivativa en el controlador responderá a los cambios bruscos en la medición que el mismo observa en el ruido. Esto causará variaciones rápidas y grandes en la salida del controlador, lo que hará que la válvula esté constantemente moviéndose hacia arriba o hacia abajo, produciendo un desgaste innecesario en la misma. **(p.4)**

El mecanismo de inestabilidad puede ser descrito intuitivamente como sigue. Debido a la dinámica del proceso, pasa algún tiempo antes de que la variable de control se note en la salida del proceso. De esta manera, el sistema de control tarda en corregir el error. La acción de un controlador con acción proporcional y derivativa puede ser interpretada como si el control proporcional fuese hecho para predecir la salida del proceso. La predicción se hace por la extrapolación del error de control en la dirección de la tangente a su curva respectiva, como se muestra en la siguiente figura.

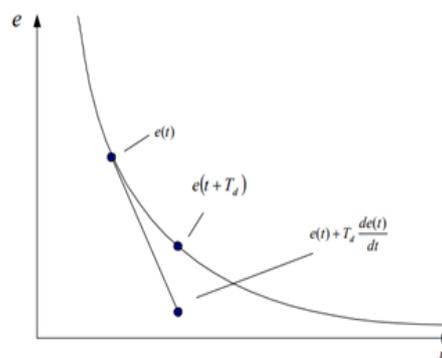


Figura 6: Interpretación geométrica de la acción derivativa de un control predictivo.
(www.eng.newcastle.edu.au)

2.7 COMPACTLOGIX DE ROCKWELL- AUTOMATION

2.7.1 Descripción del sistema CompactLogix

El sistema CompactLogix fue desarrollado para ofrecer una solución Logix para aplicaciones de control dentro de las gamas inferior a media de los controladores programables. Generalmente, éstas son aplicaciones de control

se desarrollan a nivel de máquina, por lo que se requiere un número reducido de dispositivos de E/S y capacidades de comunicaciones limitadas.

Un sistema de control básico puede constar únicamente de un controlador programable en un solo banco de módulos de E/S y comunicación de red DeviceNet o EtherNet/IP . En un caso más complejo, se agregan otras redes y control de movimiento.

La configuración de sistema de control básico puede requerir del uso de un controlador programable en un solo banco de módulos de E/S y comunicación punto a punto. Pero también se pueden utilizar varios controladores programables que se comuniquen a través de una red de comunicación industrial y compartan información.

Usan una plataforma de control común con un entorno de implementación común, el cual proporciona control sobre la aplicación en un entorno fácil de utilizar. La estrecha integración entre el software de programación visual, el controlador programable y los dispositivos de E/S reduce el tiempo y costo de implementación en la puesta en operatividad durante el normal funcionamiento de la aplicación. Esta característica de homogeneidad brinda la integración a bajo costo de una máquina a un sistema de control a nivel de toda la planta porque integra sus capacidades en un solo controlador programable.

2.7.2 Módulos de Entrada/Salida CompactLogix

Los módulos de E/S CompactLogix 1769 pueden ser usados como dispositivos de E/S locales y distribuidas para un controlador programable Compact Logix. Cada módulo de E/S incluye un bloque de terminales removibles (RTB) incorporado con una cubierta de protección contra contacto accidental, los cuales pueden ser conectados a dispositivos de accionamiento y detección de E/S.

Existen dentro del controlador CompactLogix 1769, tres tipos de módulos E/S que son:

- Módulos de E/S Analógicos,
- Módulos de E/S Digitales,
- Módulos de E/S Especiales.

El sistema Logix5000 usa conexiones para transmitir datos de E/S. existen dos tipos de conexión que se describen a continuación:

Según el **Manual de del usuario de los controladores CompactLogix 1769 (2013)**, una conexión directa se define como:

Un vínculo de transferencia de datos en tiempo real entre el controlador y un módulo de E/S. El controlador mantiene y monitorea la conexión entre el controlador y el módulo de E/S. Cualquier interrupción de la conexión, tal como un fallo del módulo o el retiro de un módulo con la alimentación eléctrica conectada, causa que el controlador establezca bits de estado de fallo en el área de datos asociada con el módulo.

Generalmente, los módulos de E/S analógicas, los módulos de E/S de diagnóstico y los módulos especiales requieren conexiones directas. **(p.90)**

Según el **Manual de del usuario de los controladores CompactLogix 1769 (2013)**, una conexión de rack optimizado se define como:

En el caso de módulos de E/S digitales se puede seleccionar la comunicación optimizada para rack. Una conexión de rack optimizado consolida el uso de la conexión entre el controlador y todos los módulos de E/S digitales en un rack (o riel DIN). En vez de conexiones directas individuales para cada módulo de E/S hay una sola conexión para todo el rack (o riel DIN). **(p.90)**

2.7.2.1 Módulos de E/S digitales CompactLogix

- Módulos de entrada digital AC
- Módulos de salida digital AC
- Módulos de entrada digital DC
- Módulos de salida digital DC
- Módulos de salida de contacto digital

2.7.2.2 Módulos de E/S analógicos Compactlogix

Los módulos analógicos que forman parte del controlador Ccompactlogix son de termopares o RTD.

La mayoría de módulos análogos son de entrada, sólo algunos vienen con entrada y salida integrada.

2.7.2.3 Módulos de E/S especiales Compactlogix

Los módulos de E/S especiales están disponibles para ser utilizadas en aplicaciones muy específicas, y que consisten en:

- Módulo de reserva de dirección 1769-ARM
- Módulo gateway en serie 1769-ASCII
- Módulo de control 1769-BOOLEAN
- Módulo contador 1769-HSC de alta velocidad
- Compact I/O a variadores PowerFlex

2.7.3 Compatibilidad con otros dispositivos

Existen diversos dispositivos de un sistema de control que tienen compatibilidad y con los cuales los controladores de la línea CompactLogix pueden comunicarse.

2.7.3.1 Comunicación con dispositivos de visualización

El controlador 1769 CompactLogix puede comunicarse con algunos dispositivos de visualización como, PanelView, VersaView CE, InView, etc.,

2.7.3.2 Comunicación con otros controladores y dispositivos de comunicación

El sistema CompactLogix permite establecer comunicación con diferentes controladores y dispositivos de la plataforma de control, como por ejemplo: 1769 CompactLogix, 1789 SoftLogix5800, 1769 MicroLogix, etc.

2.7.4 Chasis para el sistema

Según **Kaiser (2008)**:

Un sistema CompactLogix se puede montar en panel o en riel DIN. Se recomienda que cuando se monte el sistema CompactLogix los módulos queden en posición horizontal entre sí. También los módulos pueden agruparse en distintos bancos y los bancos pueden estar en posición vertical u horizontal entre sí.

Los rieles DIN que se utilicen para cualquier componente del sistema CompactLogix deben montarse sobre una superficie común conductora para evitar la interferencia electromagnética (EMI).**(p.38)**

CAPITULO III

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA, BASADO EN LA ARQUITECTURA DE ROCKWELL-AUTOMATION

3.1 INTRODUCCIÓN

Para determinar el equipamiento de un sistema de control automatizado basado en la arquitectura del fabricante Rockwell-Automation, se requiere tomar consideraciones técnicas en los dispositivos o equipos para la composición de la plataforma de control, plataforma de comunicación, plataforma de visualización y la plataforma de gestión. Dependiendo de la aplicación a desarrollar, se utilizarán las plataformas antes enunciadas, tomando vital importancia la plataforma de control.

Se debe entender, que para el diseño de cada plataforma, se requiere de una variedad de equipamiento, tanto de hardware como de software, el cual será optimizado para diferentes aplicaciones.

Es por ello, que en este capítulo se presenta una serie de consideraciones para la adecuada elección de cada plataforma que conforman la arquitectura del fabricante Rockwell-Automation, en especial del PLC Compact Logix.

3.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

El desarrollo de los sistemas de automatización industrial tienden a la integración de las diferentes plataformas, tanto de los equipamientos o sistemas montados en la industria, así como del software a emplear.

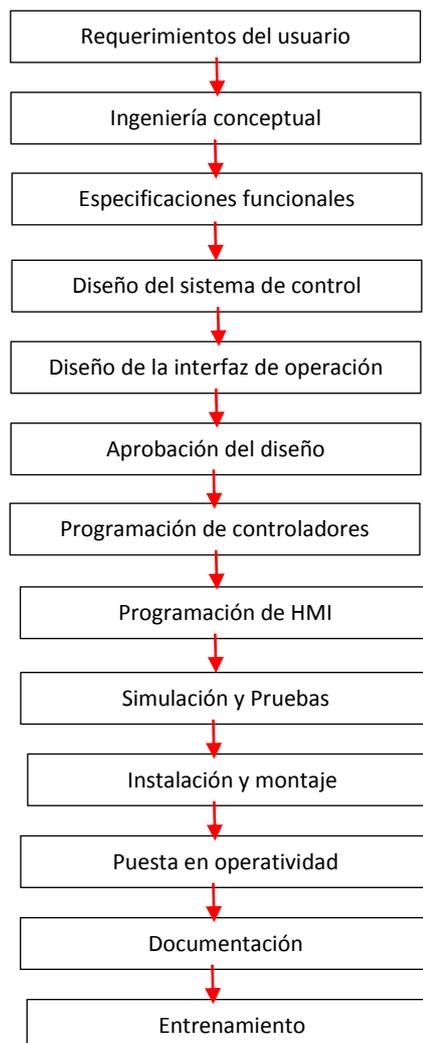
Según **Kaiser (2008)**:

El objetivo principal de las consideraciones de diseño es la realización de la automatización de las industrias a través de la aplicación de las tecnologías existentes de control e información. Otro objetivo es darle un enfoque de integración en donde se puede mejorar la comunicación entre la información de Control de planta y los sistemas gestión de información. (p.112)

Las soluciones de automatización industrial o de modernización de sus procesos, abarcan diferentes áreas tales como:

- Controladores lógicos programables (PLCs).
- Redes de comunicación industrial
- Control numérico (CNC).
- Sistemas de monitoreo, de adquisición de datos SCADA
- Interfaz HMI.
- Acceso remoto a los sistemas de control

En la siguiente figura, se muestra un diagrama esquemático de las etapas o pasos a seguir cuando se quiere diseñar e implementar un sistema de control y automatización industrial:



**Figura 7: Etapas para el diseño de un sistema de control y automatización
(fuente propia)**

Como se muestra en la figura anterior, las consideraciones de diseño son etapas que todo proyectista debe tomar en cuenta al momento de desarrollar un sistema de control y automatización, tomando en cuenta que la parte más importante es conocer cuál es la aplicación que se debe desarrollar, es decir, cuáles son los requerimientos del usuario del sistema, que se deben tomar en cuenta para el dimensionamiento del sistema.

3.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL BASADO EN LA ARQUITECTURA DE ROCKWELL AUTOMATION

Las consideraciones para el desarrollo de un proyecto, inciden en el diseño de la arquitectura de un sistema de control y automatización, al plantear una solución de integración de todas sus plataformas.

En las consideraciones técnicas para el diseño e implementación del sistema de control de temperatura propuesto en esta tesis, se tomó en cuenta lo siguiente:

3.3.1 Requerimientos del usuario

Se analizó qué tipo de aplicación necesita el usuario y cuáles son sus requerimientos.

En nuestro caso, nuestra aplicación a desarrollar es un módulo de control de temperatura, empleando el Controlador Lógico Programable COMPACTLOGIX 1769-L23E-QBFC1B, utilizando la técnica de control proporcional integral y derivativo (PID).

3.3.2 Seleccionar plataforma de control

Analizando el punto anterior, se determinó cuál plataforma de ControlLogix es la más adecuada para el desarrollo de la aplicación. Las plataformas que están disponibles para las diferentes aplicaciones son:

- ControlLogix,
- CompactLogix,
- FlexLogix,
- DriveLogix,
- SoftLogix,

- MicroLogix.

Los tipos de control que pueden desarrollar estas plataformas pueden considerar el:

- Control de movimiento,
- Control de variadores,
- Control de procesos,
- Control secuencial.

Y las aplicaciones que desarrollan pueden ser:

- De movimiento de motores,
- De regulación de velocidad de motores,
- De procesos de envasado, etiquetado, etc.

En nuestro caso, se ha seleccionado la plataforma de control COMPACTLOGIX, que utiliza el PLC COMPACTLOGIX 1769 para el control de procesos, siendo nuestra aplicación un módulo controlador de temperatura. Este PLC es de gama media.

3.3.3 Seleccionar plataforma de red

Según **Kaiser (2008)**:

La "Plataforma de Red" se refiere al conjunto de redes de comunicación industrial que permiten la interconexión de todos los niveles y elementos que componen una aplicación completa de automatización industrial.(p.71)

Una vez que seleccionamos la plataforma de control, basándonos en los requerimientos del usuario, debemos analizar qué tipo de Red o redes son necesarias utilizar.

Existen tres redes industriales que se pueden utilizar:

- DeviceNet,
- ControlNet y
- EtherNet/IP.

Se requiere conocer las características de la red industrial EtherNet/IP.

Según **Kaiser (2008)**:

La red EtherNet/IP, se basa en el tradicional protocolo de comunicaciones para redes informáticas EtherNet, definido en la norma IEEE 802.3, y al que se ha implementado en su capa de aplicación el protocolo CIP. A través de este arreglo, es posible la interconexión de EtherNet/IP con las otras redes que implementan CIP, es decir, con DeviceNet y ControlNet. En el nombre EtherNet/IP, la expresión IP significa "Industrial Protocol" haciendo alusión a la implementación de CIP, señalada anteriormente. **(p.80)**

Se requiere conocer las características de la red industrial ControlNet.

Según **Kaiser (2008)**:

La red ControlNet ha sido diseñada especialmente como una red para el nivel de control de alta velocidad para comunicar a los distintos controladores de planta. También, tiene como segunda función principal la de recolectar datos a través de módulos de I/O desde transmisores de señal estándar repartidos en terreno. **(p.77-78)**

Se requiere conocer las características de la red industrial DeviceNet.

Según **Kaiser (2008)**:

La red DeviceNet se basa en los protocolos CAN y CIP, el primero desarrollado por la empresa alemana Bosch, y el segundo desarrollado por la propia RA. Actualmente, la asociación de fabricantes ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) administra sus especificaciones. Posee la característica especial de energizar a los dispositivos a través del mismo medio físico.**(p.75)**

En nuestro caso, que se va a controlar un proceso no complejo y desarrollar un módulo de control de temperatura, se ha seleccionado la plataforma de red EtherNet/IP.

3.3.4 Seleccionar la plataforma de supervisión

Una vez que hemos escogido la plataforma de control y de red dependiendo de los requerimientos del usuario, es necesario analizar qué tipo de plataforma de supervisión se requiere para la visualización y control de los datos del sistema.

En nuestro caso, se ha seleccionado la plataforma de supervisión basada en el Software de supervisión RSVIEW 32 Supervisory Edition, cuya operación está basada en el sistema operativo Windows, el cual se comunicará con los PLC's mediante el protocolo Ethernet, de ésta manera el nivel de supervisión podrá adquirir los datos de los PLC's.

3.3.5 Selección de la plataforma de gestión

Para completar el desarrollo de la aplicación requerida por el usuario, se debe analizar que plataforma de gestión utilizaremos. Como ésta plataforma está basada en la Plataforma de Red, tenemos que determinar qué clase de datos son los que vamos a recolectar y como queremos ver la información, los cuales pueden ser a través de bases de datos o gráficos, etc.

3.3.6 Programación y Configuración de Controladores, HMI, Software

Todos los dispositivos que forman parte de las diferentes plataformas, deben ser programados y configurados de acuerdo a la aplicación requerida por el usuario.

3.3.7 Simulación y Pruebas

Antes de comenzar con la etapa de implementación de la aplicación, se debe simular la aplicación requerida y desarrollar las pruebas de operatividad.

La simulación del controlador de temperatura se llevó a efecto y cuya comprobación se efectuó de manera exitosa con las pruebas de operatividad del módulo controlador de temperatura.

3.3.8 Instalación y Montaje

Para la instalación y montaje del hardware y software del sistema de control, se utilizaron los manuales del usuario, tanto del PLC como del software de visualización y/o supervisión.

El montaje del controlador de temperatura se desarrolló según los estándares para implementar un Panel de Control Ergonómico con que cuenta el mencionado laboratorio, a fin de mantener una homogeneidad en la presentación de las aplicaciones.

3.3.9 Puesta en Marcha

Probar la operatividad del sistema de control una vez instalados los equipos, durante un período de tiempo.

Las pruebas de operatividad se desarrollaron en el Laboratorio de Control y Automatización de la carrera profesional de Ingeniería Electrónica de la Univeridad Privada de Tacna, ubicado en el Tercer Piso del Pabellón F del Campus Capanique 1.

3.3.10 Entrenamiento

El entrenamiento se dió al encargado del laboratorio de Control y Automatización, quien va a operar el sistema de control de temperatura, con el objetivo de que maneje adecuadamente los dispositivos de control que la conforman y las programaciones que se requieren realizar.

3.4 CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE CADA PLATAFORMA

A continuación se plantean una serie de consideraciones para la selección del equipamiento y dispositivos de cada plataforma, para el desarrollo de la aplicación definida como módulo de control de temperatura, cuya arquitectura está basada en el fabricante Rockwell-Automation.

Estas consideraciones son planteadas a fin de establecer un procedimiento de selección, de manera que puedan ser aplicados a todos los componentes de cada plataforma.

3.4.1 Consideraciones sobre la plataforma de control

La plataforma de control es el elemento principal de todo sistema de control y automatización. El fabricante Rockwell-Automation presenta distintas posibilidades de plataformas de control, entre las que están ControlLogix, FlexLogix y CompactLogix entre otras.

Al momento de seleccionar la plataforma de control del fabricante Rockwell-Automation, se consideraron los siguientes ítems relacionados con la aplicación:

- Tamaño de la aplicación
- Complejidad de la aplicación
- Modularidad
- Costo al implementar la aplicación

Al seleccionar en el acápie 3.3.2 una plataforma de control basado en CompactLogix, se determinó la configuración de red y la posición de los

componentes en cada ubicación. Para el diseño del sistema CompactLogix, se seleccionó lo siguiente:

- Dispositivos de E/S
- Una red de comunicación
- Controladores de la plataforma
- Fuentes de alimentación
- Software de los controladores

3.4.2 Consideraciones de los controladores de la plataforma de control

Al tomar en consideración los controladores de cada gama del fabricante Rockwell-Automation por separado, se tomaron en cuenta las siguientes características:

- Tareas de Controlador, que pueden definirse como: continuas o periódicas de eventos
- Redundancia del controlador
- Conexiones del controlador
- Lenguajes de programación
- Memoria de Usuario
- Memoria de Usuario no volátil
- Puertos de comunicación incorporados
- Opciones de comunicación
- Comunicaciones del puerto serial
- Conexiones de redes

El controlador lógico programable (PLC) seleccionado fue el CompactLogix 1769, controlador que ofrece control, comunicación y elementos de E/S avanzados.

El controlador CompactLogix, parte de la familia de controladores Logix, proporciona un sistema pequeño, eficiente y rentable que consta de lo siguiente:

- Software de programación RSLogix 5000
- Puertos incorporados de comunicación para redes EtherNet/IP
- Un puerto serial incorporado en cada controlador CompactLogix
- Módulos Compact E/S que proporcionan un sistema de E/S compacto, montado en panel o riel DIN

3.4.3 Consideraciones sobre la plataforma de visualización

De modo general, la plataforma de visualización pasa a ser elemento muy importante dentro de la arquitectura propuesta, ya que es capaz de entregar información en planta, y dar aviso de alguna falla, mediante el uso de alarmas.

Esta plataforma permite simular un proceso en tiempo real utilizando histogramas para el monitoreo del proceso a supervisar.

Al momento de seleccionar la plataforma de visualización del fabricante Rockwell-Automation, se han de considerar las condiciones para el diseño, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 1:
Consideraciones para la elección de la plataforma de visualización

Requerimientos de la aplicación	Cosas a considerar
Requerimientos de Comunicación	Tipo de controlador o dispositivo remoto Protocolo de comunicación requerido Comunicación sobre una o múltiples redes Frecuencia de actualización de los datos
Requerimientos de Información de entrada	Partida y Parada Entrada numérica Test de entrada
Requerimientos de Información de Display	Estados ON y OFF, valores numéricos, cartas de tendencia, alarmas de procesos, estados e instrucciones manuales, producción programada, dibujos, video
Condiciones de Ambiente	Temperatura, Vibración, gas, polvo, aplicación al aire libre o sol intenso. El cierre de alimentación requerida Removimiento de poder imprevisible
Requerimientos de seguridad	Login, Acceso restrictivo por grupos o usuarios, seguridad en pantalla o displays Cambios de aplicación restrictivos.
Requerimientos de Mantención	Firmware y software compatible con el tiempo Nivel de Experiencia en Windows del personal de mantenimiento

E

En nuestro caso, se ha seleccionado la plataforma de visualización RSVIEW

32. RsView es un paquete integrado para desarrollar y correr aplicaciones de interfaces hombre-máquina que permiten automatizar un proceso o realizar monitoreo de máquinas y control supervisorio.

CAPITULO IV DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

En el presente capítulo se describirá la implementación de un módulo de control de temperatura, empleando el Controlador Lógico Programable ALLEN BRADLEY COMPACTLOGIX 1769-L23E-QBFC1B, utilizando la técnica de control proporcional integral y derivativo (PID).

Este módulo de control de temperatura será utilizado por los estudiantes y docentes como módulo de entrenamiento en el Laboratorio de Automatización y Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, en las diferentes asignaturas del Área de Control y Automatización.

4.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

Se realizó la implementación de un entrenador capaz de poder realizar control con variables de temperatura. Este entrenador cuenta con toda su alimentación de AC ya preparada para el óptimo funcionamiento del mismo, así como sus entradas y salidas digitales – analógicas para el mejor entendimiento del proceso, acompañado de un programa de visualización para que se entienda como funciona la aplicación, usando el programa RsView.

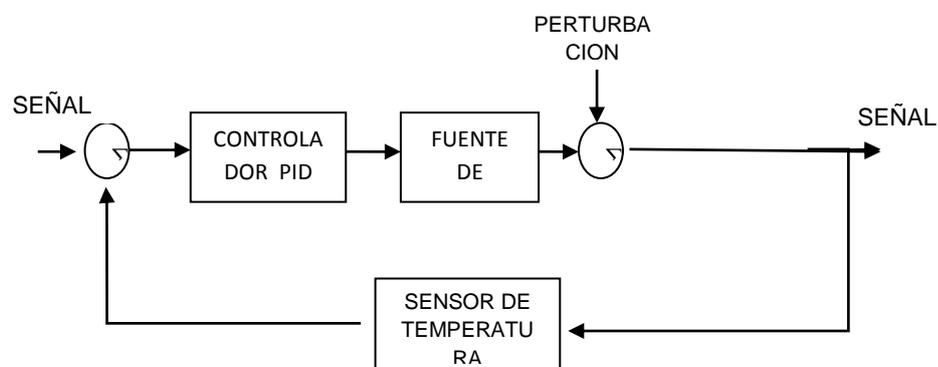


Figura 8: Diagrama de bloques de nuestro proceso

(Fuente propia)

A continuación se explicará el procedimiento seguido para el desarrollo de la aplicación.

4.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

4.2.1 El PLC CompactLogix 1769-L23

El PLC CompactLogix-L23x 1769 es un controlador compacto para aplicaciones de control de baja complejidad ya que la configuración de sus entradas y salidas esta pre configurada y es limitado a un numero de módulos adicionales. El controlador viene pre configurado con combinaciones para entradas y salidas digitales, analógicas y contadores de alta velocidad de E / S.



Figura 9: PLC CompactLogix-L23x 1769
(<http://repository.udistrital.edu.co>)

Y sus características técnicas se muestran en la siguiente tabla.

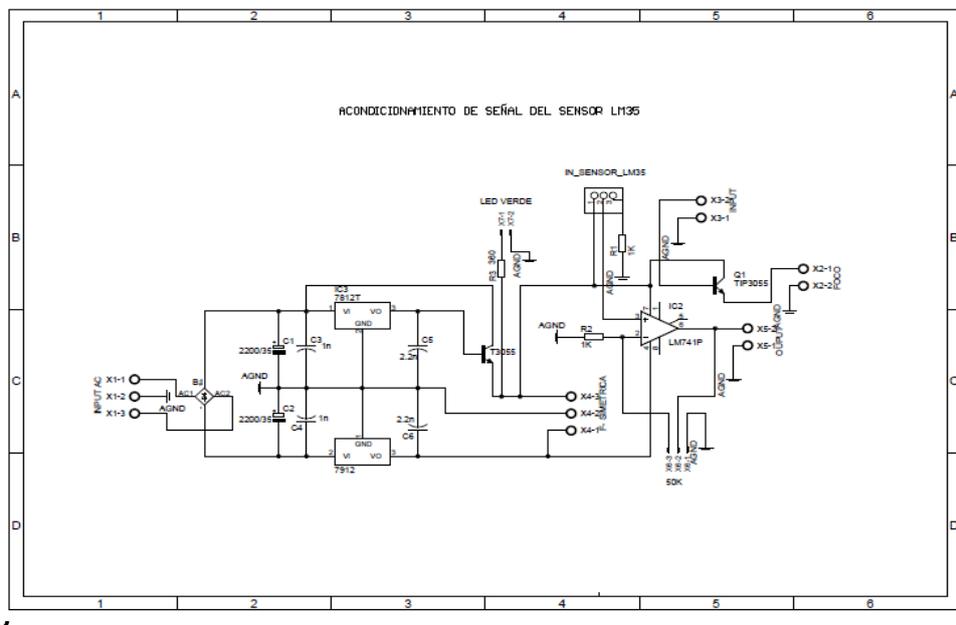
TABLA 2 :
Características técnicas del CompactLogix 1769-L23E-QBFC1B

MODELO	1769-L23E-QBFC1B
Memoria de usuario	512 kB
Tarjeta CompactFlash	Ninguna
Puertos de comunicación	1 puerto Ethernet / IP 1 RS-232 (DF1 o ASCII)
E / S incorporadas	<ul style="list-style-type: none"> • 16 entradas digitales • 16 salidas digitales • 4 entradas analógicas • 2 salidas analógicas

	• 4 contadores de alta velocidad
Capacidad de expansión Módulo	Hasta dos adicionales módulos 1769
Fuente de alimentación integrada	24V DC

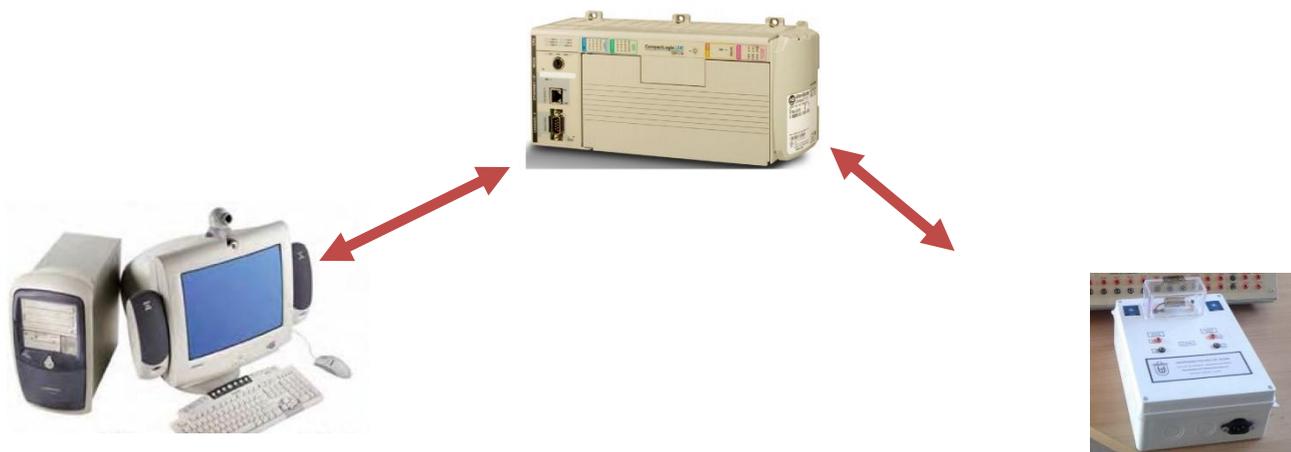
4.2.2 El módulo de temperatura

El módulo de temperatura se implementa con un sensor LM35 el cual nos dará valores de 0-10V, Una señal tratada para el actuador, en nuestro caso una lámpara incandescente que elevará la temperatura y así poder simular una Planta. o en nuestro caso, simular una aplicación para control PID.



**dulo de temperatura
(Fuente propia)**

4.2.3 Diagrama esquemático de la aplicación

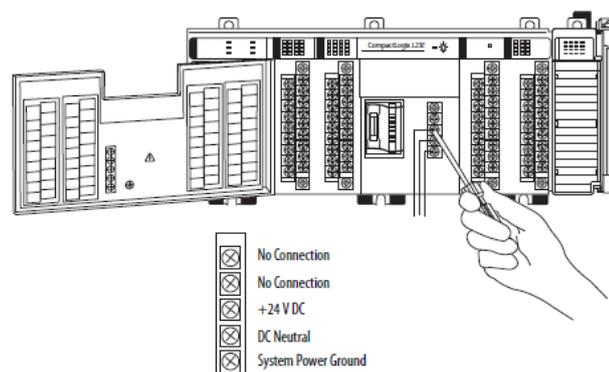


**Figura 11 : Diagrama esquemática del controlador de temperatura
(Fuente propia)**

4.3 INTERCONEXIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA APLICACIÓN

4.3.1 Conexionado del PLC con el módulo de control

Para el conexionado del PLC con el módulo seguiremos paso a paso la Guía del fabricante, esto nos servirá para energizar y poner en marcha nuestro módulo. Energizamos con 24 VDC de la fuente de poder instalada.



**Figura 12: Conexión del PLC con el módulo de control
(<http://literature.rockwellautomation.com>)**

4.3.2 Conexión de las entradas Digitales

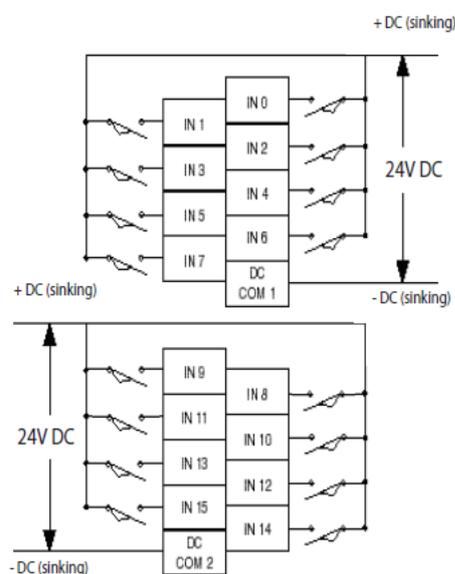


Figura 13: Conexión de las entradas Digitales
 (<http://literature.rockwellautomation.com>)

4.3.3 Conexión de las salidas Digitales:

Todas las salidas digitales van al tablero directo, solo que se tiene cuidado al conectar a un dispositivo ya que CR viene a ser un elemento a energizar (sensor, actuador 24vdc, instrumento, etc), la salida es positiva que se energiza con el común.

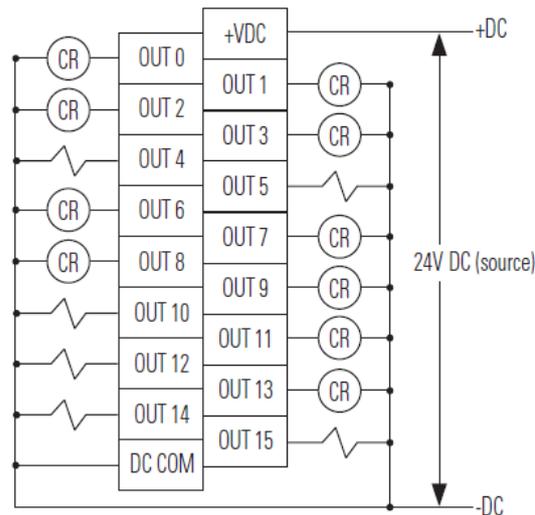


Figura 14: Conexión de las salidas Digitales
 (<http://literature.rockwellautomation.com>)

4.3.4 Conexión de entradas y salidas analógicas.

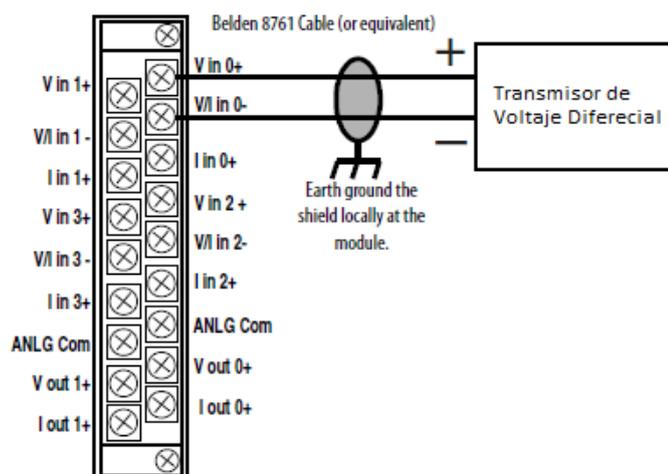


Figura 15: Conexión de entradas y salidas analógicas
(<http://literature.rockwellautomation.com>)

El conexionado al tablero es directo en el apartado de comunicación analógica. Esta grafica nos hace referencia a la conexión de un transmisor de voltaje diferencial como ejemplo de una entrada analógica de voltaje DC (0-10 Volts).

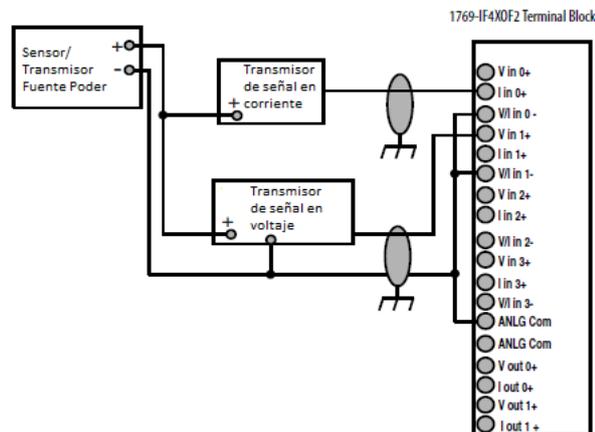


Figura 16: Conexión de un transmisor de voltaje
(<http://literature.rockwellautomation.com>)

En la figura se muestra una combinación de entrada analógica con señal de corriente (por lo general 4-20mA) y la otra de señal de Voltaje (por lo general 0-10 V_{DC}) como ejemplo.

Las salidas analógicas se configuran como muestra el siguiente gráfico. Se puede notar la diferencia de conexionado para una señal de corriente y para la señal de voltaje. Como ejemplo un actuador de señal en corriente (4-20 mA) y el otro un actuador que responde a señal de voltaje (0-10 Vdc)

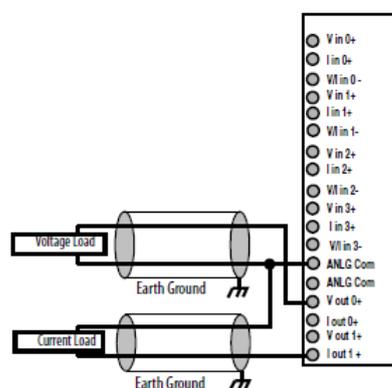


Figura 17: Configuración de las salidas analógicas
(<http://literature.rockwellautomation.com>)

4.3.5 Conexión de las entradas y salidas de contadores. (HSC)

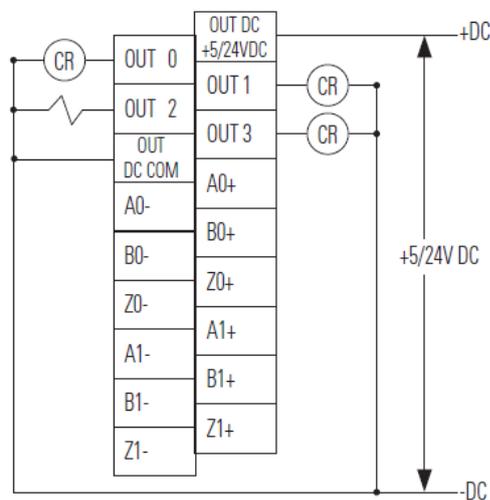
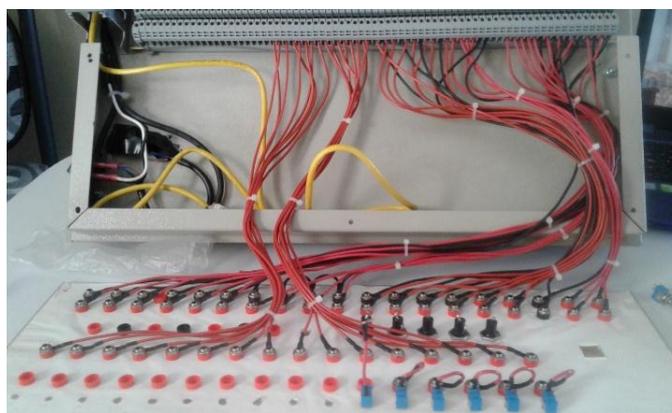


Figura 18: Conexión de las entradas y salidas de contadores
(<http://literature.rockwellautomation.com>)

Son 4 salidas que van conectados a una carga (salida +24Vdc) con el común, estas conexiones también están enlazadas al tablero en conexión directa.

Las entradas de los contadores son directas en secuencia A0, B0, Z0, A1, B1, Z1 dándonos un total de 6 entradas de contadores de alta velocidad (24Vdc) se debe tener cuidado con la polaridad.

4.3.6 Montaje del módulo

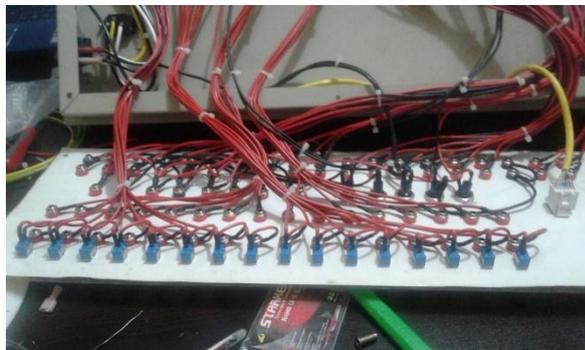


del control

**Figura 19: Inserción de los cables en el rack
(Fuente propia)**



**Figura 20: Conexión de de los cables a las borneras
(Fuente propia)**



**Figura 21: Distribución de los cables en el rack
(Fuente propia)**



**Figura 22: Ordenamiento de los cables en el rack
(Fuente propia)**



**Figura 23: Inserción del CompactLogix en el rack
(Fuente propia)**



**Figura 24: Montaje del
conexionado en el
(Fuente propia)**



**CompactLogix y
rack**

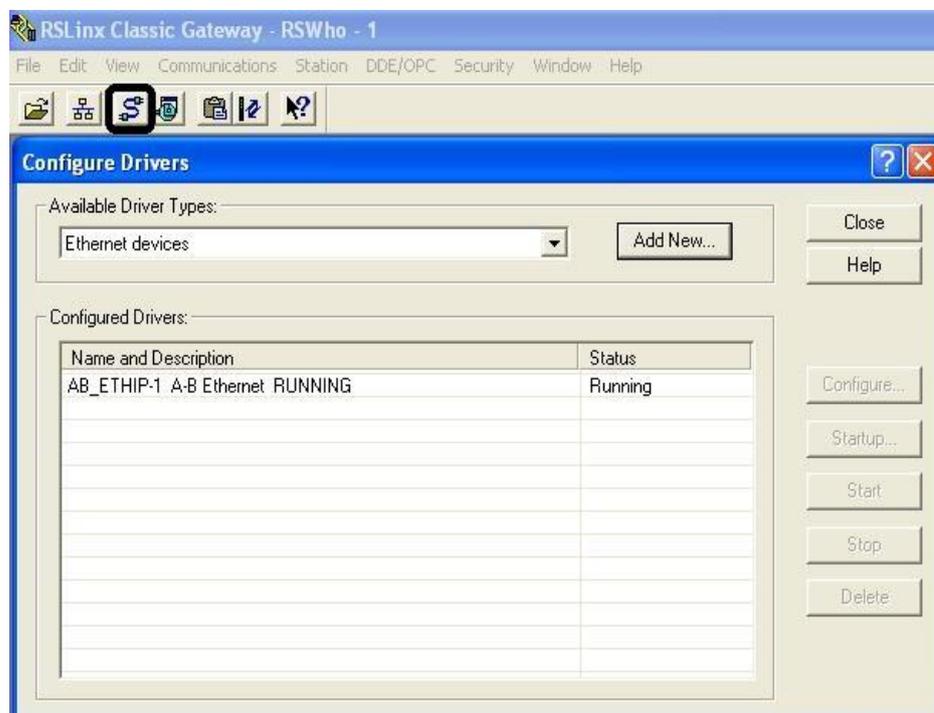
**Figura 25: Conexión del módulo de control con el CompactLogix
(Fuente propia)**

4.4 CONFIGURANDO LA PLATAFORMA DE RED RSLINXS

Mediante el programa RSLINXS, podremos tener comunicación entre el computador y el PLC Allen Bradley 1769-L23E-QBFC1B.

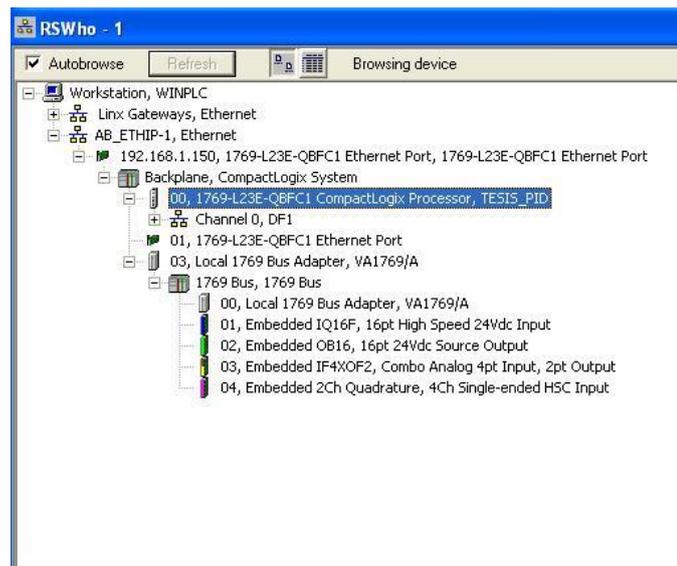
Se debe elegir el driver correspondiente a la interconexión de red seleccionada, en nuestro caso es el Ethernet Devices. Este driver nos permite escanear automáticamente la IP del PLC y auto-configurarse.

Nuestro PLC cuenta con dos puertos de comunicación, Ethernet 10/100 y Serial RS 232, el puerto serial solamente se usará en caso de configuraciones especiales, como por ejemplo asignación de nueva IP, Upgrade del firmware y otros.



**Figura 26: Configurando la plataforma de red
(Fuente propia)**

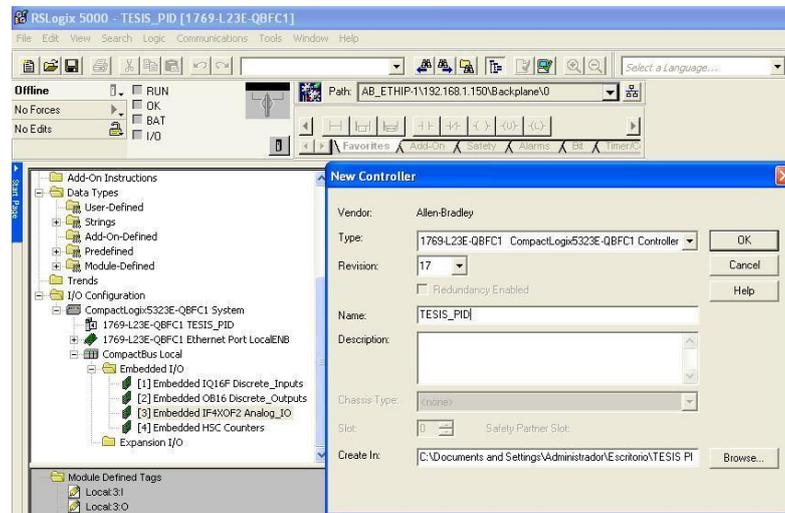
Una vez instalado y puesto en marcha el driver de comunicación, se procede al reconocimiento del PLC y todos sus periféricos que están instalados. Para ello se va a la opción RSWHo y se despliega la opción del Driver (AB-ETHIP-1, Ethernet), donde podremos observar y analizar las propiedades del PLC.



**Figura 27: Propiedades del CompactLogix 1769
(Fuente propia)**

4.5 CONFIGURANDO LA PLATAFORMA DE CONTROL RSLOGIX 5000.

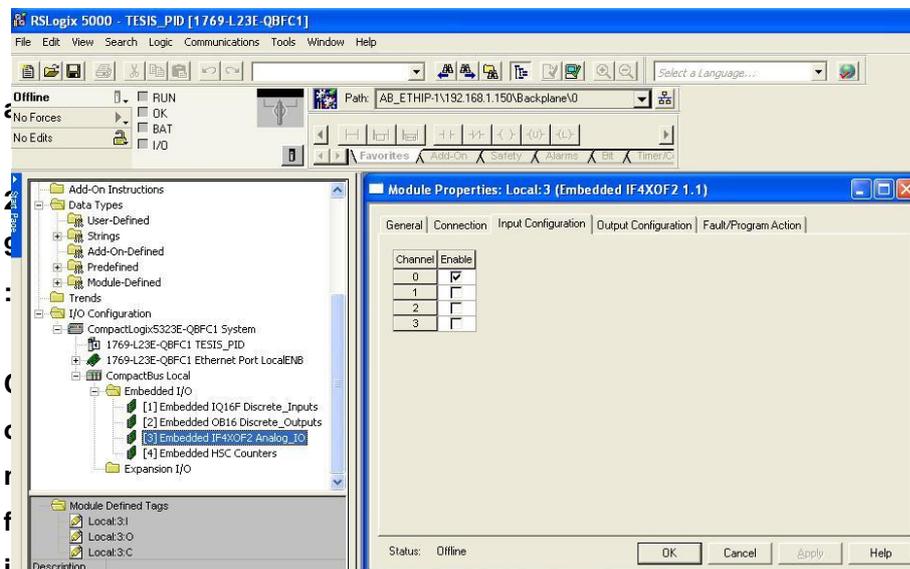
El programa RSLogix 5000 nos permite realizar nuestro programa y rutinas para asignarle al PLC. El primer paso es elegir el modelo de PLC que tenemos, en nuestro caso el 1769-L23E-QBFC1B y le asignaremos la Revisión V17. (versión de software y firmware)



**Figura 28: Selección del modelo de PLC
(Fuente propia)**

El siguiente paso es configurar las entradas y Salidas analógicas del PLC, deben habilitarse manualmente.

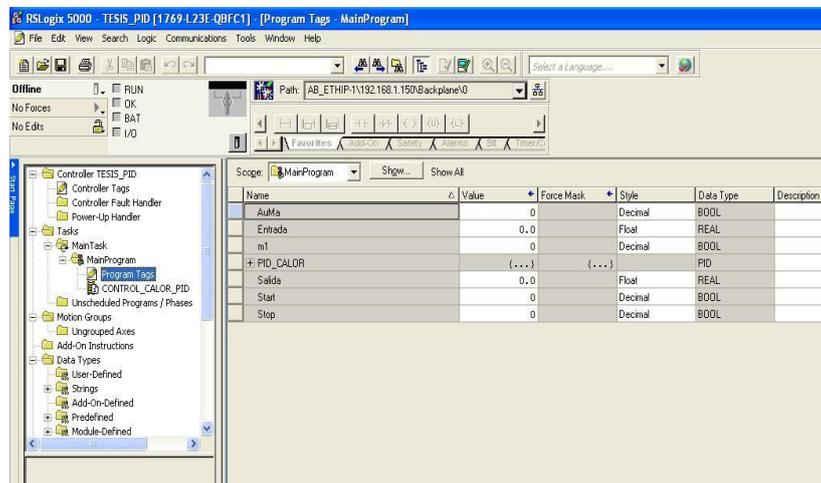
Figur



**Figura 29: Configuración de las entradas y Salidas analógicas del PLC
(Fuente propia)**

Una vez configurado el PLC, tanto sus periféricos y propiedades se procede a la programación, para esto se debe de tener un plan de acción del lenguaje a escoger. En nuestro caso usaremos programación Ladder (Rslogix cuenta con

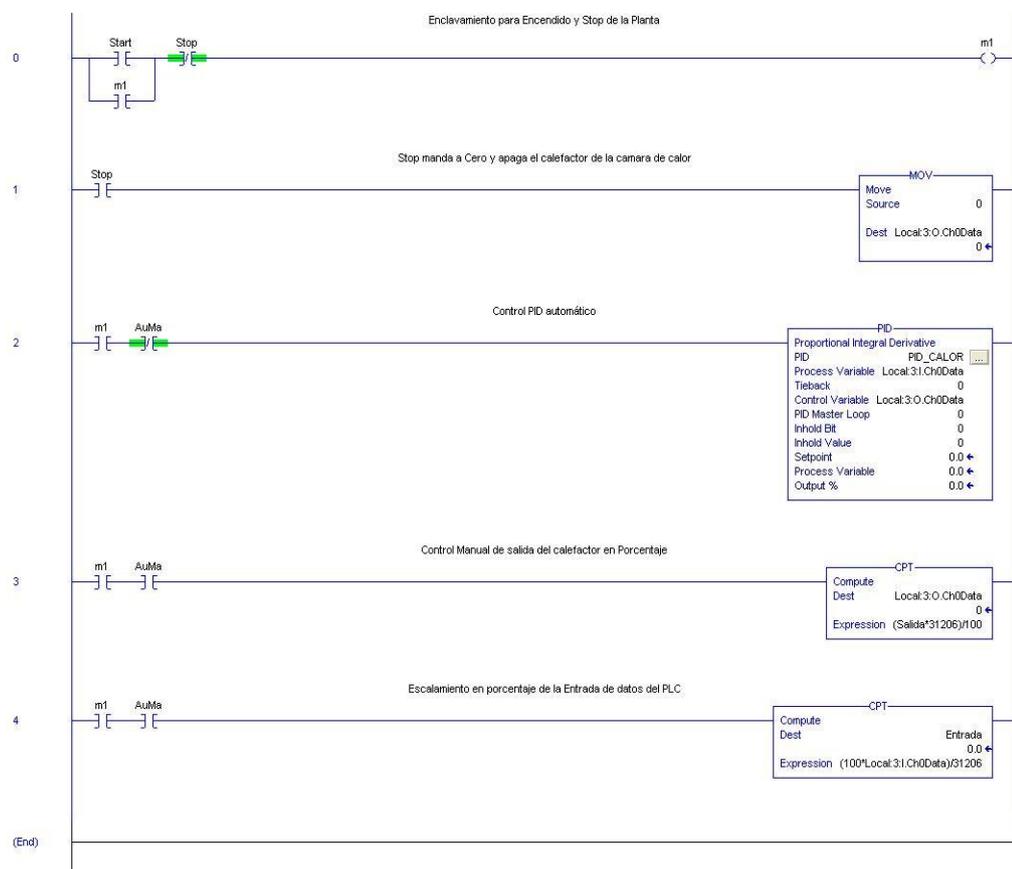
lenguajes Ladder, texto estructurado, diagrama de bloques, Grafcet). Añadimos los Tags que usaremos en el editor de tags.



**Figura 30: Selección del lenguaje de programación
(Fuente propia)**

AuMa = Tag de automatico – manual
 Entrada = Tag de entrada de datos PLC
 M1 = Tag de memoria
 PID_CALOR = Tag de PID
 Salida = Tag de salida de datos hacia el PLC
 Start = Tag de comienzo de función
 Stop = Tag de parada de función

Ahora se añade la programación en ladder de nuestro diseño para el control PID, este diseño cuenta con un control manual – automatico del entrenador de Calor.



**Figura 31: Programación en ladder de nuestro diseño para el control PID
 (Fuente propia)**

En este paso añadiremos la programación Lader, nuestra rutina consiste en diseñar un control PID para nuestra Cámara de Calor, el cual nos permitirá

simular condiciones físicas de una planta para obtener y estudiar los valores tomados por el sensor de temperatura y el actuador que es la fuente de calor.

4.6 ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PID

- Controlador PID en RSLogix:
La instrucción PID controla variables del proceso como el flujo, la presión, la temperatura o el nivel.
- Operandos

TABLA 3:
Operandos

Operando	Tipo	Formato	Descripción
PID	PID	Estructura	Estructura PID
Variables del Proceso.	SINT INT DINT REAL	Tag	Valor que se desea controlar.
Valor Retenido.	SINT INT DINT REAL	Tag Inmediato.	(Opcional). Salida de una estación manual o automática de hardware, que está ignorando la salida del controlador. <i>Introduzca 0 si no desea usar este parámetro</i>
Variable de Control.	SINT INT DINT REAL	Tag	Valor que va al final del dispositivo de control.(válvula, regulador,etc.). Si está usando la banda muerta, la variable de control debe ser REAL o se forzará a 0 cuando el error esté dentro de la banda muerta.
Lazo Maestro PID	PID	Estructura	(Opcional) Tag PID para el PID maestro. Si desea realizar control en cascada y este PID es un lazo esclavo, introduzca el nombre del PID maestro. <i>Introduzca 0 si no desea usar este parámetro</i>
Bit mantenido	BOOL	Tag.	(Opcional). Estado actual del bit mantenido desde un canal de salida analógica 1756 para un reinicio sin perturbaciones. <i>Introduzca 0 si no desea usar este parámetro.</i>
Valor mantenido	SINT INT		(Opcional). Estado actual del bit mantenido desde un canal de salida analógica 1756 para un reinicio

	DINT REAL	sin perturbaciones. Introduzca 0 si no desea usar este parámetro
Punto de ajuste.		(De visualización solamente). Valor actual del punto de ajuste.
Variable del proceso		(De visualización solamente). Valor actual de la Variable del Proceso en escala.
Salida %		(De visualización solamente). Valor de porcentaje de salida actual.

- Estructura del PID

TABLA 4:
Estructura del PID

MNemónico	Byte	Tipo	Descripción																																																		
.CTL	00	DINT	La word de indicadores almacena estos bits de estado en una word de 16 bits. Estos bits de estado se pueden establecer y restablecer:																																																		
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bit</th> <th>Numero</th> <th>Tipo</th> <th>de Dato</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>.EN</td> <td>31</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td>Habilitado</td> </tr> <tr> <td>.CT</td> <td>30</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td>Tipo cascada (0=esclavo; 1=maestro)</td> </tr> <tr> <td>.CL</td> <td>29</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td>Lazo en cascada (0=no; 1=sí)</td> </tr> <tr> <td>.PVT</td> <td>28</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td>Seguimiento de variable del proceso (0=no; 1=sí)</td> </tr> <tr> <td>.DOE</td> <td>27</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td>Derivada de (0=PV; 1=error)</td> </tr> <tr> <td>.SWM</td> <td>26</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td>Modo manual mediante software (0=no-auto; 1=sí- manual mediante sw)</td> </tr> <tr> <td>.CA</td> <td>25</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td>Acción de control (0=SP-PV; 1=PV-SP)</td> </tr> <tr> <td>.MO</td> <td>24</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td>modo manual (0=automático; 1>manual)</td> </tr> <tr> <td>.PE</td> <td>23</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td>Ecuación PID (0=independiente;</td> </tr> </tbody> </table>	Bit	Numero	Tipo	de Dato	Descripción	.EN	31	BOOL		Habilitado	.CT	30	BOOL		Tipo cascada (0=esclavo; 1=maestro)	.CL	29	BOOL		Lazo en cascada (0=no; 1=sí)	.PVT	28	BOOL		Seguimiento de variable del proceso (0=no; 1=sí)	.DOE	27	BOOL		Derivada de (0=PV; 1=error)	.SWM	26	BOOL		Modo manual mediante software (0=no-auto; 1=sí- manual mediante sw)	.CA	25	BOOL		Acción de control (0=SP-PV; 1=PV-SP)	.MO	24	BOOL		modo manual (0=automático; 1>manual)	.PE	23	BOOL		Ecuación PID (0=independiente;
Bit	Numero	Tipo	de Dato	Descripción																																																	
.EN	31	BOOL		Habilitado																																																	
.CT	30	BOOL		Tipo cascada (0=esclavo; 1=maestro)																																																	
.CL	29	BOOL		Lazo en cascada (0=no; 1=sí)																																																	
.PVT	28	BOOL		Seguimiento de variable del proceso (0=no; 1=sí)																																																	
.DOE	27	BOOL		Derivada de (0=PV; 1=error)																																																	
.SWM	26	BOOL		Modo manual mediante software (0=no-auto; 1=sí- manual mediante sw)																																																	
.CA	25	BOOL		Acción de control (0=SP-PV; 1=PV-SP)																																																	
.MO	24	BOOL		modo manual (0=automático; 1>manual)																																																	
.PE	23	BOOL		Ecuación PID (0=independiente;																																																	

02

			1=dependiente)
.NDF	22	BOOL	Inhabilitar uniformidad de la derivada (0=no; 1=sí)
.NOBC	21	BOOL	inhabilitar cálculo de polarización (0=no; 1=sí)
.NOZC	20	BOOL	Inhabilitar paso por cero para banda muerta (0=no; 1=sí)

Estos bits de estado se pueden establecer y restablecer.

Bit	Numero	Tipo de Dato	Descripción
.INI	15	BOOL	PID inicializado (0=no; 1=sí).

La instrucción PID establece los siguientes bits de estado. Estos bits de estado se pueden restablecer.

Bit	Numero	Tipo de Dato	Descripción
.SPOR	14	BOOL	Punto de ajuste fuera de rango (0=no; 1=sí).
.OLL	13	BOOL	CV limitado a límite de salida mínimo (0=no; 1=sí).
.OLH	12	BOOL	CV limitado a límite de salida máximo (0=no; 1=sí).
.EWD	11	BOOL	El error está dentro de la banda muerta (0=no; 1=sí).
.DVNA	10	BOOL	La desviación tiene alarma baja (0=no; 1=sí).

			.DVPA	09	BOOL	La desviación tiene alarma alta (0=no; 1=sí).
			.PVLA	08	BOOL	PV tiene alarma baja (0=no; 1=sí).
			.PVHA	07	BOOL	PV tiene alarma alta (0=no; 1=sí).
.SP	04	REAL	Punto de ajuste			
.KP	08	REAL	Independiente	ganancia proporcional (sin unidades)		
			Dependiente	ganancia del controlador (sin unidades)		
.KI	12	REAL	Independiente	ganancia proporcional (1/seg)		
			Dependiente	tiempo de restablecimiento (minutos por repetición)		
.KD	16	REAL	Independiente	ganancia derivada (segundos)		
			Dependiente	tiempo de régimen (minutos)		
.BIAS	20	REAL	% de polarización o feedforward			
.MAXS	24	REAL	Máximo valor de escala en unidades de ingeniería			
.MINS	28	REAL	Mínimo valor de escala en unidades de ingeniería			
.DB	32	REAL	Unidades de ingeniería de banda muerta			
.SO	36	REAL	% de salida establecida			
.MAXO	40	REAL	Límite máximo de salida (% de salida)			
.MINO	44	REAL	Límite mínimo de salida (% de salida)			
.UPD	48	REAL	Tiempo de actualización de lazo (segundos)			
.PV	52	REAL	Valor PV de escala			
.ERR	56	REAL	Valor de error de escala			
.OUT	60	REAL	Salida %			
.PVH	64	REAL	Límite alto de alarma de variable del proceso			
.PVL	68	REAL	Límite bajo de alarma de variable del proceso			
.DVP	72	REAL	Límite de alarma de desviación positiva			
.DVN	76	REAL	Límite de alarma de desviación negativa			
.PVDB	80	REAL	Banda muerta de alarma de variable del proceso			
.DVDB	84	REAL	Banda muerta de alarma de desviación			
.MAXI	88	REAL	Valor PV máximo (entrada sin escala)			
.MINI	92	REAL	Valor PV mínimo (entrada sin escala)			
.TIE	96	REAL	Valor retenido para control manual			
.MAXCV	100	REAL	Valor CV máximo (correspondiente a 100%)			
.MINCV	104	REAL	Valor CV mínimo (correspondiente a 0%)			
.MINTIE	108	REAL	Valor retenido mínimo (correspondiente a 100%)			

.MAXTIE	112	REAL	Valor retenido máximo (correspondiente a 0%)
----------------	-----	------	--

Descripción

La instrucción PID controla variables del proceso como el flujo, la presión, la temperatura o el nivel. La instrucción PID normalmente recibe la variable del proceso (PV) desde un module de entrada analógica y modula una salida variable de control (CV) en un module de salida analógico a fin de mantener la variable del proceso en el punto de ajuste deseado.

El bit .EN indica el estado de ejecución. El bit .EN se establece cuando la condición de entrada del renglón cambia de falso a verdadero. El bit .EN se restablece cuando la condición de entrada del renglón se hace falsa. La instrucción PID no usa un bit .DN. La instrucción PID se ejecuta en cada escaneo siempre que la condición de entrada del renglón sea verdadera.

- **Configurando PID:**

En las pestañas que se encuentra en la parte superior del panel de programación del RSLogix, en la librería Especial se encuentra el PID, lo seleccionamos y lo insertamos en la línea de código del editor de programación que estamos trabajando. Previamente se debieron haber configurado los tag correspondientes a la variable controlada y la salida del controlado para la cual se usaron las entradas y salidas analógicas.

Cuando se haya hecho esto se debe hacer click en el elemento insertado (PID), como se muestra en la figura:

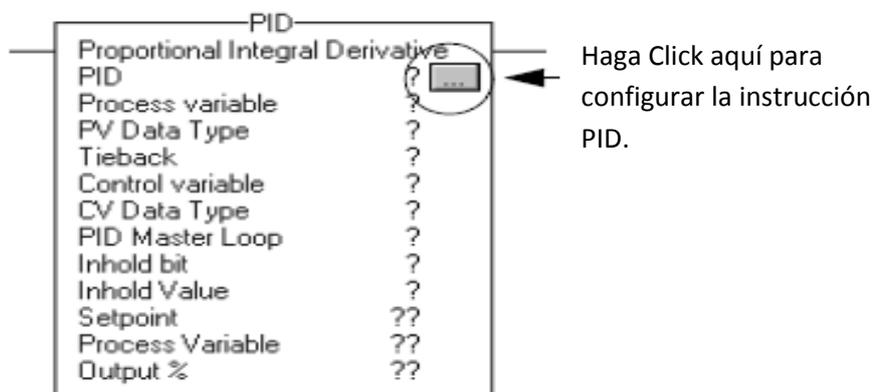


Figura 32: Configuración de la instrucción PID
(Fuente propia)

Allí conseguiremos varias pestañas donde se debe definir la instrucción PID la primera que encontraremos es la de configuración donde se encuentran los siguientes parámetros:

- **Parámetros de la pestaña Configuración**

- Ecuación PID

Indica el tipo de ecuación. Un 1 indica Ganancias dependientes; 0 indica Ganancias independientes (.PE).

Use Independientes cuando desee que los tres términos de ganancia (P, I y D) funcionen independientemente. Use Dependientes cuando desee una ganancia general del controlador que afecte a los tres términos de ganancia (P, I y D).

- Acción de control

Indica la dirección del control. Seleccione entre:

0 →significa que $E=SP-PV$

1 →significa que $E=PV-SP$

- Derivada

Indica si el término derivada en la ecuación PID afecta a los cambios en los valores de Variable de proceso (PV) o Error.

- Tiempo de actualización del lazo:

Introduzca el tiempo de actualización (.UPD) para la instrucción (mayor que o igual a 0,01 segundos).

- Límite alto CV:

El máximo valor permitido para la variable de control. Éste es el valor de CV máximo que puede tolerar el sistema. La instrucción PID no establecerá una salida de CV que exceda el límite alto.

En el cuadro de diálogo Configuración de PID, los bits de alarmas son los campos ubicados a la derecha en el área de estado. Hay ocho bits

de estado. Estos bits están dentro del miembro .CTL del tag PID. Estos bits se describen bajo la estructura PID dentro de la instrucción PID.

- Límite bajo CV:

El mínimo valor permitido para la variable de control. Éste es el valor de CV mínimo que puede tolerar el sistema. La instrucción PID no establecerá una salida de CV menor que el límite bajo.

En el cuadro de diálogo Configuración de PID, los bits de alarmas son los campos ubicados a la derecha en el área de estado. Hay ocho bits de estado. Estos bits están dentro del miembro .CTL del tag PID. Estos bits se describen bajo la estructura PID dentro de la instrucción PID.

- Valor de banda muerta:

El rango de error por encima y por debajo del punto de ajuste. Introduzca "0" para inhibir la banda muerta. Si ha sido escalada, la banda muerta tiene las mismas unidades de escala que el punto de ajuste.

La banda muerta ajustable le permite seleccionar un rango de error por encima y por debajo del punto de ajuste donde la salida no cambia, siempre que el error permanezca dentro de este rango. Esta banda muerta permite controlar la precisión de la variable del proceso con el punto de ajuste sin cambiar la salida. La banda muerta también ayuda a minimizar el desgaste del dispositivo de control final.

- Sin uniformidad de derivada:

Sin uniformidad de la derivada es igual a 1.

Un filtro de uniformidad de la derivada mejora el cálculo de la misma. Este filtro digital de primer orden y paso bajo ayuda a minimizar los picos altos del término de la derivada causados por ruido en la PV. Esta uniformidad se hace más intensa con valores mayores de uniformidad. Se puede inhabilitar la uniformidad de la derivada si el proceso requiere valores muy altos de ganancia de derivada ($K_d > 10$, por ejemplo).

Para inhabilitar la uniformidad de la derivada, seleccione la opción "Sin uniformidad de la derivada" en la ficha Configuración o establezca el bit .NDF en la estructura de PID.

- **Cálculo sin polarización:**
Se puede desactivar el cálculo en base a datos originales del término .BIAS estableciendo el bit .NOBC en la estructura de datos PID. Tenga en cuenta que si establece .NOBC en verdadero, la instrucción PID ya no proporcionará una transferencia sin perturbaciones de manual a automático cuando no se use el control integral.
- **Banda muerta sin paso por cero:**
Impide que PID use el paso por cero. Esto causa que la instrucción PID considere que el error es cero cada vez que la variable del proceso está dentro de la banda muerta; de lo contrario la PV no es considerada en la banda muerta durante el período después que entra en el rango de banda muerta y antes que cruce el SP.
- **Seguimiento PV:**
Indica si el punto de ajuste realizará un seguimiento de la PV en el modo de control manual para una transferencia sin perturbaciones al modo de control automático. Un "1" indica seguimiento de PV; "0" indica sin seguimiento de PV.
- **Lazo en cascada:**
Indica si esta instrucción PID es un lazo en cascada. Un "1" indica Sí; "0" indica NO.
- **Tipo de cascada:**
Indica el tipo de lazo, si la instrucción PID es parte de un lazo en cascada; 1 indica Maestro, 0 indica Esclavo.
- **Parámetros de la pestaña Ajustes**
 - **Punto de ajuste (SP):**

El valor del punto de ajuste o el valor deseado para la PV.

- % de salida establecido:
La salida PID para el modo establecer salida manual del software. Use este valor para evitar perturbaciones en el control al cambiar el modo de control nuevamente a automático.
- Polarización de salida:
Introduzca un porcentaje de polarización de salida (.BIAS). Este valor se usa para la salida durante el modo manual mediante software.
- Ganancia proporcional:
Ganancia proporcional - Kp o Kc (esto depende de la selección de ecuación PID dependiente o independiente, la ecuación de ganancias dependientes es el estándar ISA).
- Ganancia integral:
Ganancia integral - Ki o Ti (Restablecimiento de ganancia)
- Tiempo de derivada:
Introduzca la ganancia de derivada (.KD).

En el caso de ganancias independientes, éste valor es la ganancia de derivada (segundos).

En el caso de ganancias dependientes, éste valor es el régimen de tiempo (minutos).

- Manual:
Seleccione manual (.MO) o manual mediante software (.SWM).

El modo manual anula el modo manual mediante software si ambos están seleccionados.

- Manual mediante software:

Se usa para simular una estación de control manual. "No" indica que el sistema está en el modo Automático; "1" indica que el modo Manual mediante software está habilitado.

La salida de la ecuación PID se especifica mediante el campo % de salida establecido.

- **Restablecer:**
Haga clic en este botón para restablecer los valores de ganancia a los valores mostrados al entrar en este cuadro de diálogo. Cuando se realizan cambios en los valores de ganancia, éstos no se hacen efectivos inmediatamente; haga clic en el botón Aplicar para aplicar y guardar los cambios.

- **Parámetros de la pestaña Alarmas:**
 - **Variable de proceso (PV) alta:**
El valor al cual la alarma alta de PV se establece en verdadero. Éste es el valor de PV más alto que puede tolerar el sistema.

 - **Variable de proceso (PV) baja:**
El valor al cual la alarma baja de PV se establece en verdadero. Éste es el valor de PV más bajo que puede tolerar el sistema.

 - **Banda muerta de variable de proceso (PV):**
Ésta es una banda muerta de un solo lado. El bit de alarma no se establece hasta que la PV cruza la banda muerta y llega al límite de alarma.

El bit de alarma permanece establecido hasta que la PV pasa nuevamente y sale de la banda muerta.

 - **Desviación positiva:**
Introduzca un valor de desviación positiva (.DVP).

 - **Desviación negativa:**

Introduzca un valor de desviación negativa (.DVN).

- Banda muerta de desviación:

Introduzca un valor de banda muerta de alarma de desviación (.DVDB).

- **Parámetros de la pestaña Escala:**

- Máx. sin escala:

El valor máximo para la variable de proceso (PV) sin escala.

- Mín. sin escala:

El valor mínimo para la variable de proceso (PV) sin escala.

- Unidad de ingeniería máx.:

La unidad de ingeniería máxima para la variable del proceso (PV).

- Unidad de ingeniería mín.:

La unidad de ingeniería mínima para la variable del proceso (PV).

- Máx.:

El máximo valor para la variable de control (CV).

- Mín.:

El mínimo valor para la variable de control (CV).

- Máx.:

El valor máximo del valor retenido.

- Mín.:

El valor mínimo del valor retenido.

- PID inicializada:

Indica si el valor PID ha sido inicializado.

- **Parámetros de la pestaña Estado:**

- Punto de ajuste (SP):

Muestra el punto de ajuste actual.

- Variable de proceso:
Muestra el valor de PV actual.

- Error:
La diferencia entre PV (variable del proceso) y SP (punto de ajuste). Si la acción de control es directa, entonces este parámetro es $PV - SP$.

Si lo contrario es verdadero, este parámetro es $SP - PV$.

- Salida:
Muestra el valor porcentual de la salida actual.

- Valor retenido:
Muestra el valor retenido actual.

- Modo:
Indica el modo Manual, Automático o Manual mediante software.

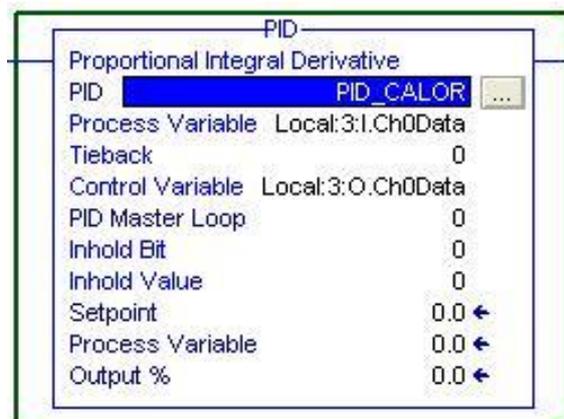
- Alarma PV:
Indica el estado de la alarma PV:
 - Si el bit PV alto está establecido en 1, aparece ALTO en la pantalla.
 - Si el bit PV bajo está establecido en 1, aparece BAJO en la pantalla.
 - Si ningún bit está establecido en 1, entonces aparece NINGUNO en la pantalla.

- Alarma de desviación:
Indica el estado de la alarma de desviación:
 - Si el bit de alarma de desviación alta está establecido en 1, aparece ALTA en la pantalla.
 - Si el bit de alarma de desviación baja está establecido en 1, aparece BAJA en la pantalla.
 - Si ningún bit está establecido en 1, aparece NINGUNO en la pantalla.

- Límite de salida:
Si el bit 12 del bloque de control se establece en 1, entonces aparecerá BAJO en la pantalla; de lo contrario, aparecerá NINGUNO.
- Error dentro de banda muerta:
Si el bit 11 del bloque de control se establece en 1, entonces aparecerá SI en la pantalla; de lo contrario, aparecerá NO.
- Punto de ajuste fuera de rango:
Si el bit 14 del bloque de control se establece en 1, entonces aparecerá SI en la pantalla; de lo contrario, aparecerá NO.
- PID inicializada:
Marcado si el mensaje de PID está inicializado.

4.7 CONFIGURACIÓN PID PARA CÁMARA DE CALOR

- Para la programación en Lader tendremos que configurar el cuadro PID siguiendo la guía letras arriba.



**Figura 33: Configuración PID para cámara de calor
(Fuente propia)**

PID (TAG) = PID_CALOR

Proccess Variable (PV) = Dirección habilitada de entrada analógica

Tieback = 0

Control Variable (CV) = Dirección habilitada de salida analógica

PID master Loop = 0

Inhold Bit = 0

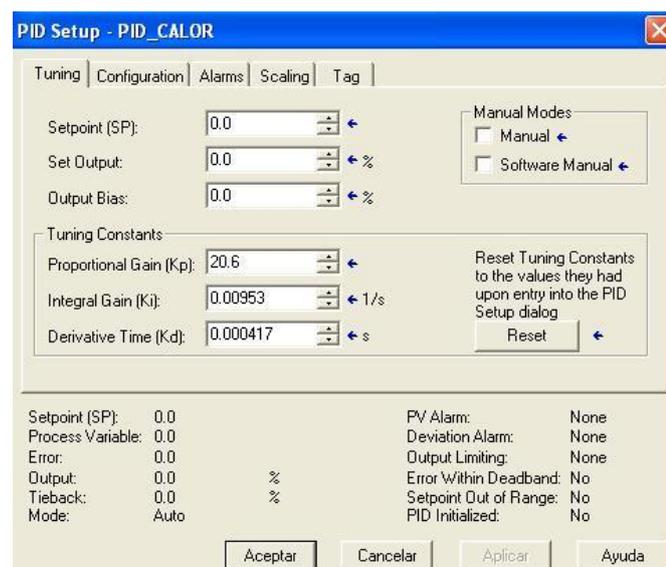
Inhold Value = 0

SetPoint (SP) = Muestra el valor del SetPoint ajustado

Process variable (PV) = muestra el valor de la variable de proceso

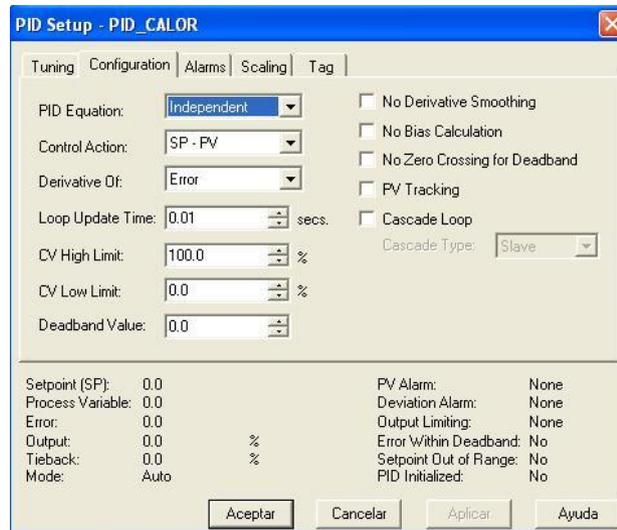
Output% = muestra el valor en porcentaje de la salida

- Ahora se configura las propiedades y ajustes del PID.
Los valores agregados Kp, Ki, Kd son obtenidos por el método del tanteo. (método válido ya que también se pueden tomar otros métodos como el matemático con función escalón y tabulados en el Matlab para obtener el Kp, Ki, Kd).



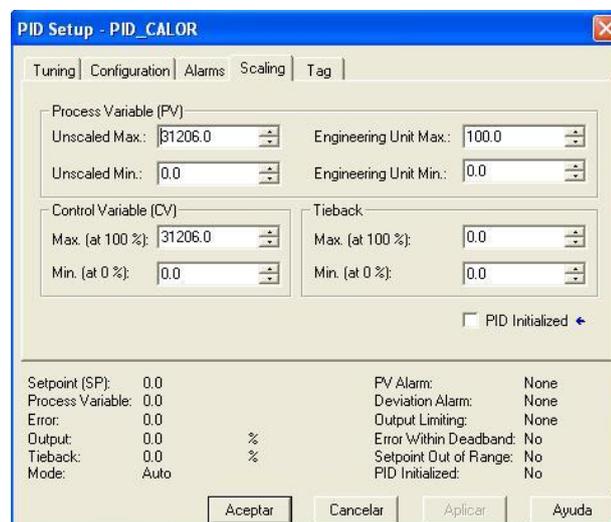
**Figura 34: Configuración de las propiedades y ajustes del PID
(Fuente propia)**

- Se realiza la configuración del Control PID tomando como referencia que en nuestro caso es un control que actúa sobre la señal del error, ganancias independientes y se establece una acción directa (SP-PV)



**Figura 35: Configuración del Control PID
(Fuente propia)**

- Se configura la pestaña de escalada, tomando en cuenta que el valor 31206 es un parámetro de obtención del PLC como valor máximo (100%). El valor del PLC es de (-31206 hasta 31206).



**Figura 36: Configuración de la variable del proceso y variable de control
(Fuente propia)**

4.8 CONFIGURACIÓN DE LA PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN RSVIEW 32

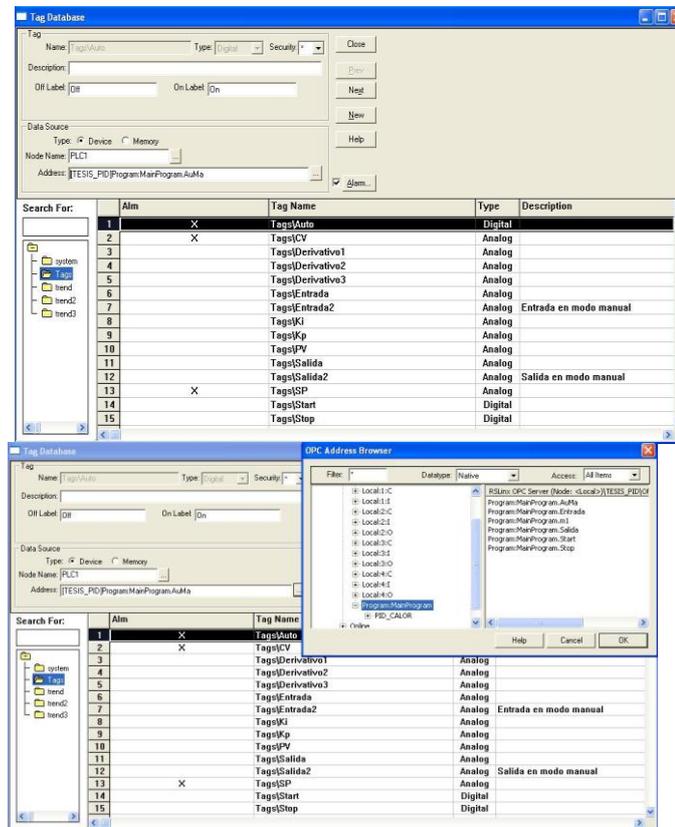
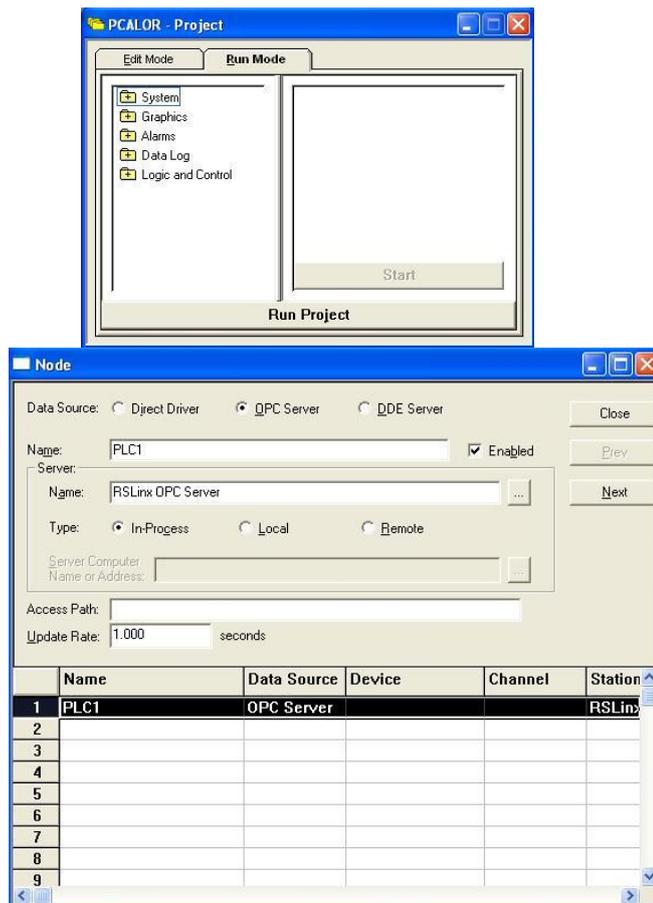
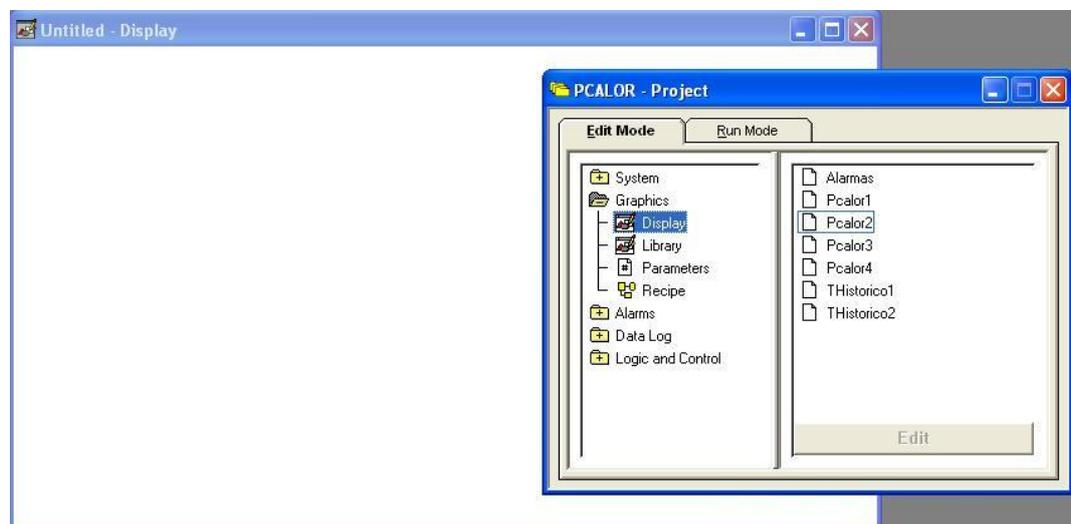


Figura 37: Configuración del programa Principal y edición de los etiquetas (Fuente propia)



**Figura 38: Verificación de los parámetros en el modo Ejecución
(Fuente propia)**



**Figura 39: Visualización del Proyecto, Modo Ejecución.
(Fuente propia)**

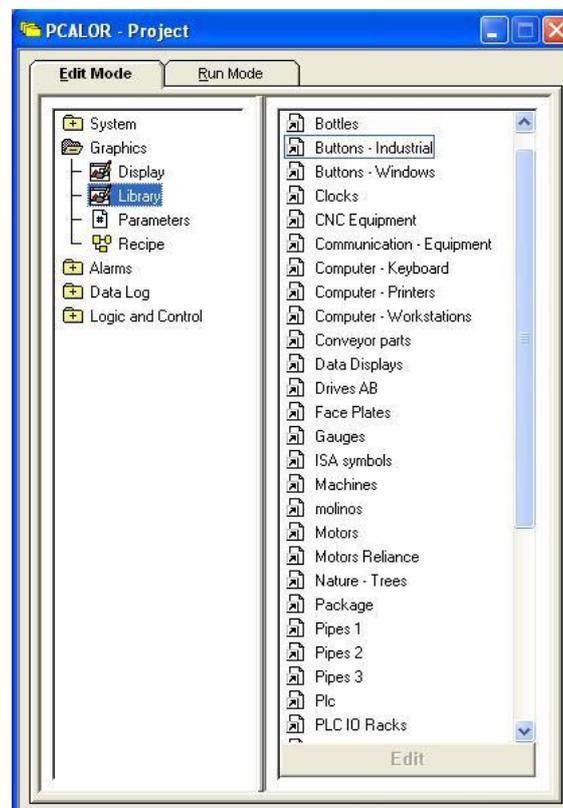


Figura 40: Visualización de las librerías, Modo Ejecución.
(Fuente propia)

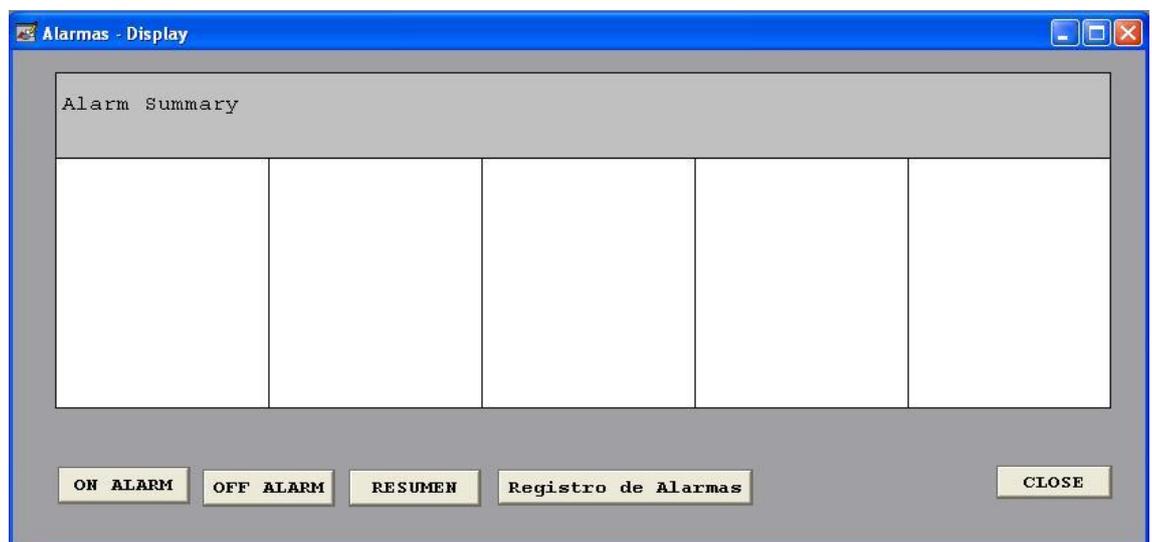
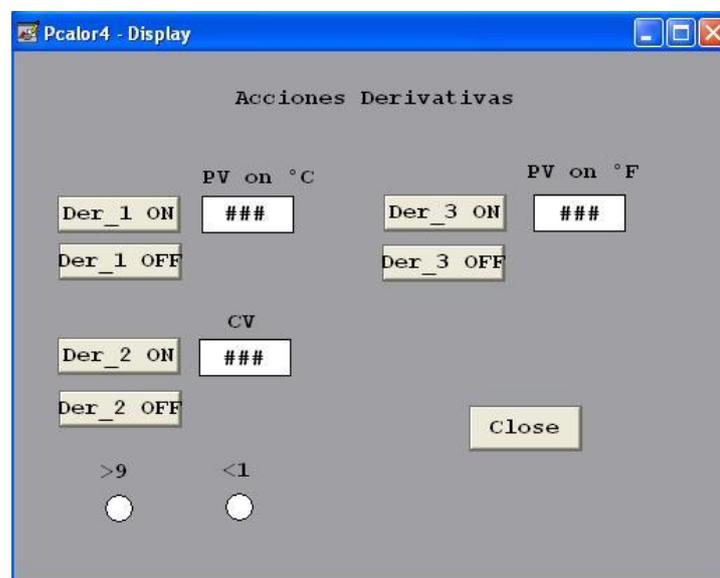
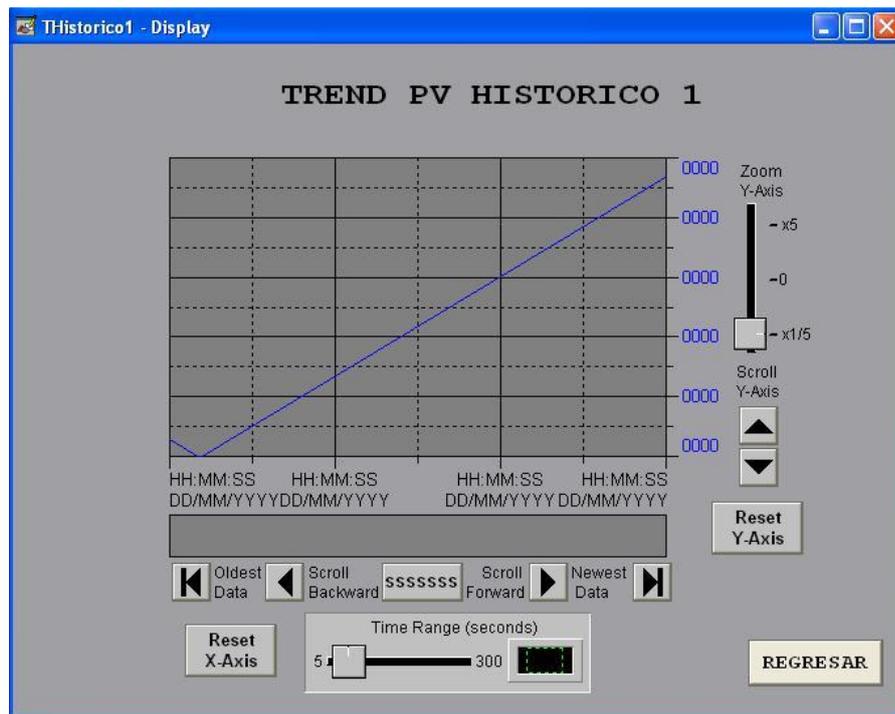


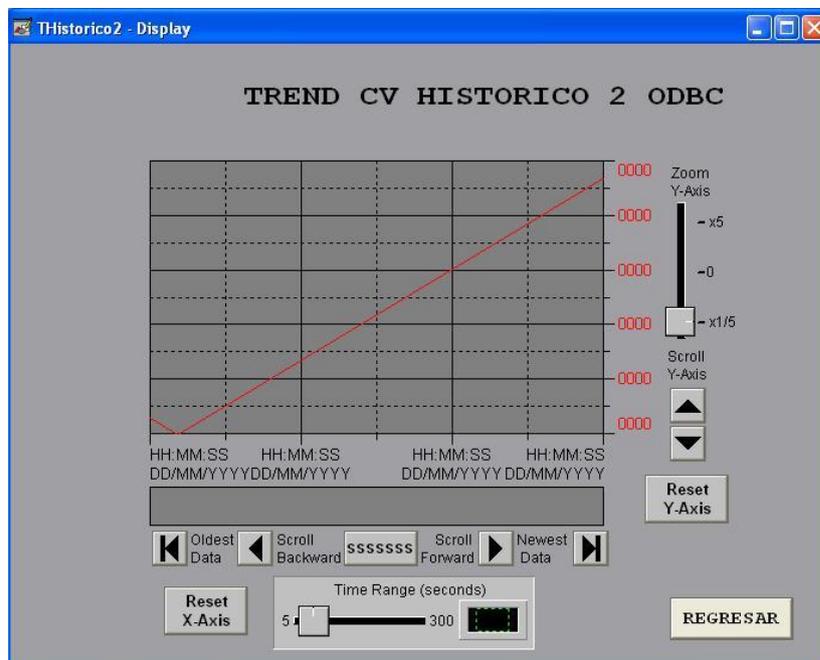
Figura 41: Visualización del Registro de alarmas
(Fuente propia)



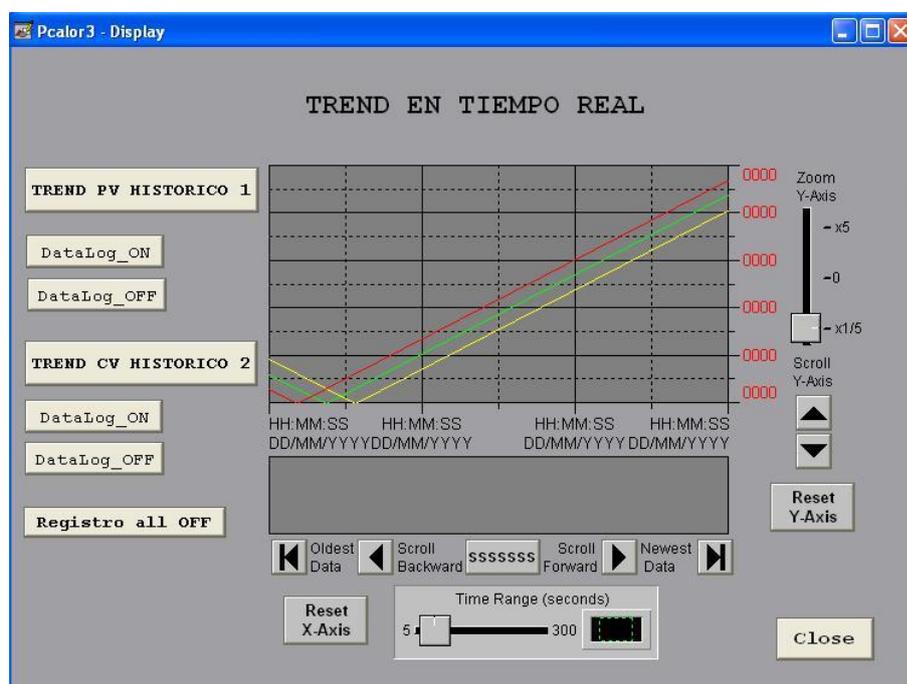
**Figura 42: Visualización de las acciones derivativas del Control PID
(Fuente propia)**



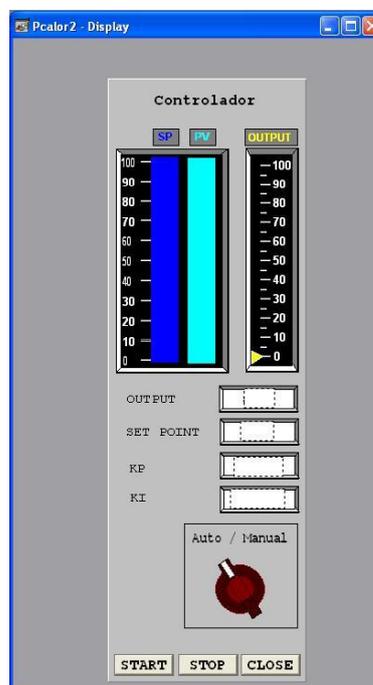
**Figura 43: Visualización de la tendencia histórica PV
(Fuente propia)**



**Figura 44: Visualización de la tendencia histórica CV
(Fuente propia)**



**Figura 45: Visualización de la tendencia en tiempo real
(Fuente propia)**

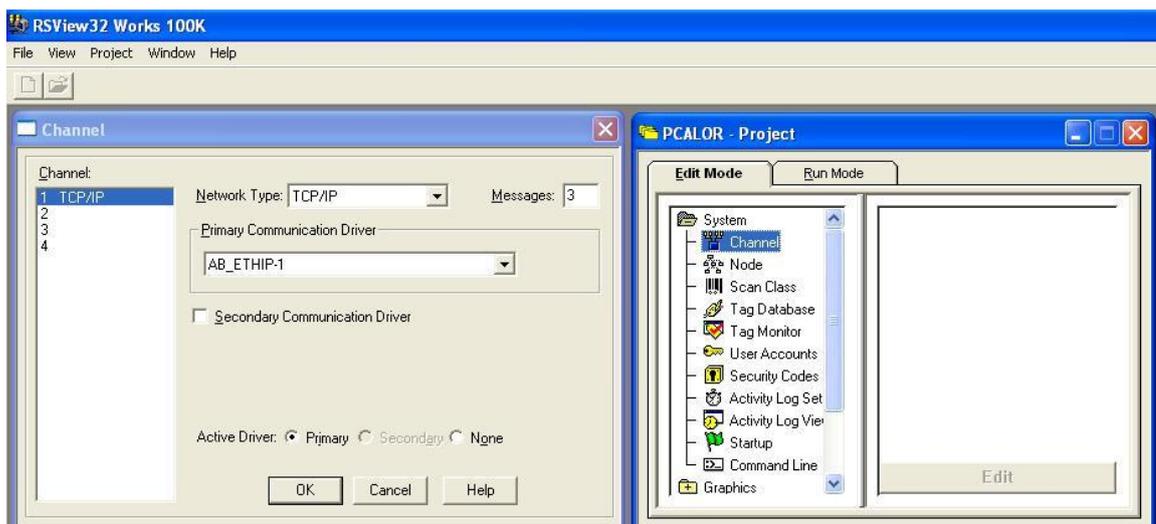


**Figura 46: Visualización de la operatividad del controlador
(Fuente propia)**

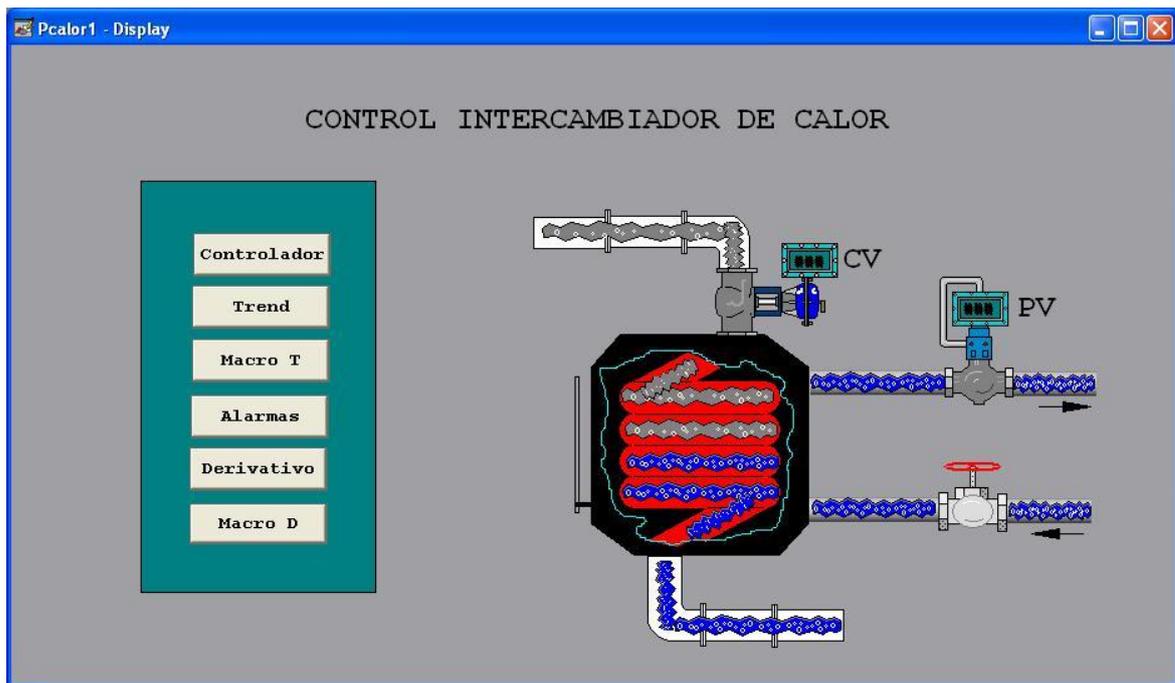
4.9 PRUEBAS DE OPERATIVIDAD DEL MÓDULO



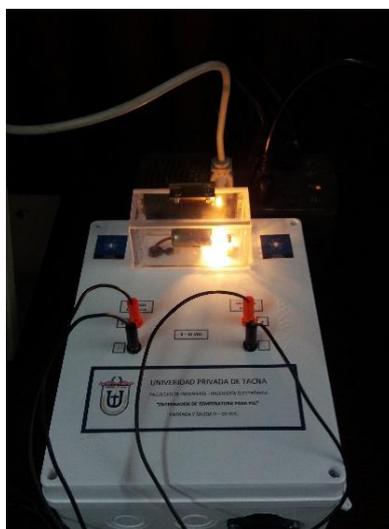
**Figura 47: Programación del controlador COMPACTLOGIX
(Fuente propia)**



**Figura 48: Configuración de la plataforma de red Ethernet TCP/ IP
(Fuente propia)**



**Figura 49: Simulación del intercambiador de calor usando la plataforma RSView 32
(Fuente propia)**



**Figura 50: Operatividad del módulo de temperatura
(Fuente propia)**

CONCLUSIONES

Se pudo verificar la operatividad del módulo de control de temperatura, y monitorear los parámetros del sistema desde la plataforma de visualización RSView 32. Además esta plataforma permitió la simulación del proceso.

La integración de la plataforma de control basada en el CompactLogix, con la plataforma de red EtherNet/IP y la plataforma de supervisión basada en el software de visualización RSView 32, facilitó la implementación de nuestro módulo de control de temperatura. Al momento de operativizar el sistema de control, se pudo comprobar que el controlador funcionaba correctamente, en un ambiente amigable para el operador.

Se verificó que la interconexión del módulo de temperatura que utiliza el Control PID a la plataforma de control CompactLogix mediante la plataforma de red EtherNet/IP, operaba sin ningún problema, La adecuada configuración y programación del Control PID en el panel del RSLogix5000 y RSView 32 , facilitó el trabajo.

RECOMENDACIONES

Es importante para el Laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica también implementar en un futuro con la participación de los estudiantes, un módulo de control de nivel de líquidos utilizando el controlador CompactLogix y el módulo de control de nivel existente en el laboratorio que se encuentra inoperativo..

Es importante implementar sistemas de control integrado con controladores de gama media o alta, que facilite la integración de los diferentes módulos con los que cuenta la EPIE, como son el módulo de control de nivel, control de velocidad y sentido de giro de motor, y el módulo FESTO de clasificación de fichas. Todos esos módulos pueden ser gobernados por una red de controladores Compactlogix..

Se recomienda que el Laboratorio de Control y Automatización pueda contar con dispositivos de visualización, tales como pantallas HMI o Panel View, que faciliten la supervisión y monitoreo de los procesos que se puedan realizar con la red industrial con que cuenta el Laboratorio..

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera P. PROGRAMACIÓN DE PLCS. Universidad de Nueva León (2002), México
<http://eprints.uanl.mx/919/1/1020148252.PDF>
- Allen-Bradley Rockwell Automation. GUÍA DE SELECCIÓN DE SISTEMA COMPACTLOGIX
http://literature.rockwellautomation.com/idc/group/literature/documents/sg/1769-sg001_-es-p.pdf
- Allen-Bradley Rockwell Automation MANUAL DE PROGRAMACIÓN DE LOGIX 5000 PRODUCED AND CONSUMED TAGS.
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pm/1756-pm011_-en-p.pdf
- Allen-Bradley Rockwell Automation MANUAL DEL USUARIO DE CONFIGURACIÓN DE LA RED ETHERNET/IP
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/net-um001_-es-p.pdf
- Allen-Bradley Rockwell Automation MANUAL DE LOS CONTROLADORES COMPACTLOGIX 1769
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um011_-es-p.pdf
- Amadori A. EL ABC DE LA AUTOMATIZACION. ALGORITMO DE CONTROL PID
<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/algoritmo-de-contro-pid.pdf>
- Hurtado J. INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL
http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion-a-las-redes-de-comunicacion-industrial.pdf

- InfoPLC Revista de automatización industrial, robótica e industria 4.0: RSLOGIX 5000, UNA SUITE DE SOFTWARE ESCALABLE QUE PUEDE OFRECER MÚLTIPLES POSIBILIDADES, (Mayo 2012)
<http://www.infoplcn.net/noticias/item/1310-rslogix-5000-una-suite-de-software-escalable-que-puede-ofrecer-multiples-posibilidades>
- Kaiser K. ESTUDIO DE LA PLATAFORMA INTEGRADA DE AUTOMATIZACIÓN DEL FABRICANTE ROCKWELL AUTOMATION Y SU APLICACIÓN COMO SOLUCIÓN REAL DE AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL, Universidad Austral de Chile (2008).
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcik.13e/doc/bmfcik.13e.pdf>
- Mazzone V. CONTROLADORES PID. Universidad Nacional de Quilmes (2002), Argentina
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
- Muñoz J. ESTUDIO DE APLICACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DEVICENET Y CONTROLNET DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES COMO SOLUCIÓN DE RED DE CAMPO Y PROCESO EN UNA PLANTA INDUSTRIAL. Universidad Austral de Chile (2007), Chile
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim971e/doc/parte/ii.pdf>
- Ponsa P, Granollers A. DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL
<https://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>
- Datasheet sensor LM35
www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf
- Especificaciones y guía de usuario PLC Allen Bradley 1769-L32E-QBFC1B
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in082_-en-p.pdf

ANEXOS
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS
DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE
TEMPERATURA Y PLC